

8

Maassbestimmung der Polarisation

durch das

physiologische Rheoscop

von

Prof. Dr. Emil Harless.

Aus den Abhandlungen der k. bayer. Akademie der W. II. Cl. IX. Bd. I. Abth.

München 1861.

V e r l a g d e r k. A k a d e m i e,

in Commission bei G. Franz.

Maassbestimmung der Polarisation durch das physiologische Rheoscop

von

Prof. Dr. E. Harless *).

Dazu Tab. 7.

Alle Maassbestimmungen der Nervenreizbarkeit besitzen vorläufig noch einen bloss relativen Werth. Die absoluten Werthe zu ermitteln, muss einer Zeit vorbehalten bleiben, in welcher das Wesen der Nerven-thätigkeit vollkommen aufgedeckt ist. Man hat sich zunächst an die motorischen Nerven gehalten, weil man in den zugehörigen Muskeln einen der objectiven Beobachtung zugänglichen Index für die Erregbarkeit jener vor sich hat. Es ist unleugbar, dass bis zu einer gewissen Grenze hin die Leistung eines Muskels wächst mit der Intensität des Reizes, welchen man auf den Nerv wirken lässt: und dass also umgekehrt auch innerhalb derselben Grenzen der gleiche Reiz eine mit der Erregbarkeit der Nerven wachsende Leistung des Muskels herbeiführen muss. Die Grenze liegt da, wo das Maximum der Muskelthätigkeit in Beziehung auf seine Verkürzung oder Bewältigung eines zu hebenden Gewichtes gegeben ist. Bei gewissen Methoden der Zerstörung der Nerven entstehen die heftigsten Zuckungen. Wenn man solche Reize in geringeren Graden und allmählich gesteigert anwendet, so sieht man bis zu der Grenze hin, an welcher das Nervenstück wirklich vollkommen

*) Der Akademie vorgelegt im November 1858.

zerstört ist, immer Zuckungen auftreten, welche lange, ehe man dem Maximum des Reizes nahe gekommen ist, schon ihr äusserstes Maass erreicht haben. Wenn also die Erregung eines Nerv an den Grad des Eingriffes gebunden ist, was man doch voraussetzen muss, so lange überhaupt noch eine Erregbarkeit in ihm stattfindet, so ist unzweifelhaft, dass jenseits der Erregungsstufe, auf welcher durch den Reiz das Maximum der Zuckung erzielt wurde, noch Grade der Erregung liegen müssen, welche sich an dem Muskel nicht mehr weiter zu erkennen geben. Unterhalb dieser Grenze finden wir eine gewisse Relation zwischen der Nervenerregung, deren Aenderung wir bei Aenderung des Reizes voraussetzen und der Intensität der Muskelzuckung; aber welcher Natur diese Relation sei, bleibt unbekannt; am unwahrscheinlichsten ist eine strenge Proportionalität zwischen beiden.

Diese Ueberlegungen mussten dahin führen bei dem Aufsuchen der relativen Unterschiede in der Erregbarkeit sich so weit als möglich von dem Zuckungsmaximum entfernt zu halten, also Reize in Anwendung zu bringen, welche den Nerv nur sehr wenig erregen.

Es sind bis jetzt zwei Methoden zu dem fraglichen Zweck gewählt worden, und beide benützen als Erregungsmittel galvanische Ströme in dieser oder jener Form. Die eine Methode variirt die Grösse des Reizes und sucht immer nur den geringsten Grad der Muskelverkürzung zu erzielen; dabei ist der Maassstab das jeweilige Quantum des Reizes, also die Stromdichte, welches zur Erzielung des gleichen Effektes von minimaler Grösse nothwendig ist. Die zweite Methode erhält die Grösse des Reizes aufrecht und untersucht den jeweiligen Effekt auf die Muskeln. Sie benützt also die Verkürzungswerthe dieser als Maassstab. In beiden Methoden wird der andere physiologisch so wichtige Factor, nämlich die Geschwindigkeit des Stromwechsels stets constant erhalten.

Beide Methoden erfordern eine grosse Anzahl von Cautelen und Handgriffe, in Folge dessen der Eine vielleicht dieser, der Andere jener den Vorzug gibt, je nachdem er mehr nach dieser oder jener Methode gearbeitet hat. Beide können sich sehr gut unterstützen und controliren; doch soll hier nicht ihr gegenseitiger Werth, oder ihre besonderen Vorzüge abgewogen werden, sondern es handelt sich in dem Nachfolgenden nur um Fragen, welche bei beiden Methoden aufzuwerfen sind, ein ausgedehnteres Interesse aber noch für die in der grösseren Mehrzahl der Fälle von mir angewendete erste Methode haben.

Ich benütze, wie ich diess anderwärts weitläufig auseinander gesetzt habe, einen feuchten Rheostaten, d. h. eine in den Schliessungsbogen des Grove'schen Bechers eingeschaltete und messbar zu verlängernde oder zu verkürzende Flüssigkeitssäule von überall gleichem Querschnitt, wobei also die Widerstände im Schliessungsbogen mit den Längen dieser Flüssigkeitssäule wachsen. Ihre Zunahme ist proportional den Längen plus den Widerständen, welche im Nerv und in der Kette, sowie in dem metallischen Theil des Schliessungsbogens (den Drahtleitungen) gelegen sind. Da die beiden letzten Elemente des Gesamtleitungswiderstandes verschwindend klein sind gegen die im Rheostaten und im Nerv, so dürfen sie vernachlässigt werden. Auch die Widerstände im Nerv verschwinden sehr häufig gegen die im Rheostaten, wenn die zur Auslösung der schwächsten Zuckung erforderlichen Stromstärken sehr klein sind. Ein 5 Mill. langes Stück vom Schenkelnerv des Frosches kann z. B. Widerstände darbieten von 0,5—0,6 oder noch weniger eines Centimeter der Flüssigkeitssäule im Rheostaten, deren Länge behufs der Reizung 80, 100 und mehr Centimeter hoch gemacht werden muss.

Die Ablesung am Rheostaten genügt also unter Berücksichtigung des Nervenquerschnittes in der Mehrzahl der Fälle, wenn man von der Formel ausgeht: $W = \frac{l}{q}$, wobei W den Widerstand, l die Länge,

q den Querschnitt der Flüssigkeitssäule bedeutet. Diese Formel gilt aber bekanntlich nur unter der Voraussetzung, dass die Polarisation vollkommen ausgeschlossen oder verschwindend klein ist.

Die Polarisation ist ihrem absoluten Werth nach abhängig von der Natur ihres Entstehungsortes, von der Stärke des primären Stromes und innerhalb weiter Grenzen von dessen Dauer.

Von den verschiedenen Methoden die Grösse der Polarisation zu bestimmen, habe ich die einfachste, für diese Zwecke genügende gewählt, weil es nur darauf ankam, zu untersuchen, in welchen Verhältnissen der unter sonst gleichen Umständen beobachtete Werth der Polarisation sich zunächst mit der Natur der Rheostatenfüllung änderte. Zu dem Ende wurde der Strom durch den Rheostat geschickt; er circulirte durch denselben in allen Versuchen genau *eine* Minute lang; mit dem letzten Sekundenschlag der Minute legte ein Mechanismus mit stets gleich bleibender Geschwindigkeit die Wippe um, durch welche jetzt das Element ausgeschlossen und der Rheostat in den Kreis eines Galvanometers mit astatischem Nadelpaar aufgenommen wurde. Die Empfindlichkeit dieses Instrumentes war für die Ordnung der Nervenströme noch gross genug. Der Rheostat war mit den nachstehenden Mischungen einer concentrirten chemisch reinen Kupfervitriollösung und destillirtem Wasser gefüllt. Der Ausschlag der Nadel wurde mit dem Fernrohr aus beträchtlichem Abstand vom Instrument beobachtet. Die elektromotorische Kraft der Kette war in allen Versuchen gleich.

I. Füllung des Rheostat 1 auf 3000 Wasser.		II. Füllung des Rheostat 1 auf 1000 Wasser.	
Rheostat	Ausschlag am Galvanometer	Rheostat	Ausschlag am Galvanometer
20	0	40	2,5°
15	0	9,8	6,5°
5	0,5°		

III. Füllung des Rheostat 1 auf 250 Wasser.		IV. Füllung des Rheostat 1 auf 7 Wasser.	
Rheostat.	Ausschlag am Galvanometer	Rheostat	Ausschlag am Galvanometer
70	3,5°	153	8,5°
40	5°	40	14,5°
20,3	8°	15	27°
5	10,5°		

Die Zahlen in der Rubrik „Rheostat“ bedeuten Centimeter Höhe der Flüssigkeitssäule des Rheostat, welche im übrigen metallischen Schliessungsbogen eingeschaltet war.

Man sieht daraus, dass mit der Verdünnung der Kupfervitriollösung, also mit Steigerung der Widerstände die Höhe der Flüssigkeitssäule immer niedriger werden muss, um nach derselben Dauer des primären Stromes denselben Ausschlag durch den Polarisationsstrom erzielen zu lassen. Vergleicht man in den drei letzten Fällen die Wirkungen des Polarisationsstromes auf die Nadel, wenn die Flüssigkeitssäule je immer 40 Centimeter Höhe hatte, so ergeben sich für die gleiche Dauer des primären Stromes die Verhältnisse von

1 : 2 : 6, während die Stromintensitäten
sich verhalten wie 70 : 14 : 1.

Obwohl also an sich die Wirkungen des Polarisationsstromes bei sehr schwachen primären Strömen sehr klein sind, so sind ihre Gegenwirkungen bei den letzteren doch ungleich grösser, als bei den stärkeren primären Strömen. Diese müssen um das 70fache in unserem Fall abnehmen, wenn man die Gegenwirkung des Polarisationsstromes nur auf das Sechsfache reduciren will. Die Schwäche der Ströme,

welche man meistens bei unseren physiologischen Reizversuchen und besonders bei der von mir eingehaltenen Methode in Anwendung zu bringen hat, schützt uns also bei absoluten Messungen nicht vor Irrungen, welche aus der Vernachlässigung der Grösse gleichzeitig auftretender Polarisationsströme entspringen.

Die Methode, welche ich gewählt habe, mir eine Vorstellung von dieser Grösse bei der individuellen Beschaffenheit meiner Instrumente zu verschaffen, leistet natürlich nicht so viel, dass man ihren absoluten Werth in jedem Moment der Schliessungsdauer des primären Stromes finden könnte. Obwohl es uns gerade nicht an Mitteln fehlt, diess möglich zu machen, so sind doch die dafür berechneten Methoden ziemlich umständlich und bei grösseren Reihen von Reizversuchen nicht wohl anwendbar. Um zu entscheiden, ob diese eben berührten Verhältnisse bei dem ganzen Verfahren in der Bestimmung der *relativen* Maasse der Reizbarkeit, welches ich aufgestellt habe, störend eingreifen und namhafte Fehler verursachen, habe ich einen anderen Weg eingeschlagen. Die Anforderungen an die Genauigkeit unserer Experimente finden ihre Grenze an der Schärfe der Messinstrumente, welche uns zu Gebot stehen, um die Differenzen der fraglichen Kräfte zu bestimmen. Das eine der in Anwendung gebrachten Instrumente war ein grosses Galvanometer mit astatischem Nadelpaar, das andere war das Froschpräparat selbst, an welchem wir ja von der bekannten Grösse des Reizes aus auf die Erregbarkeit des Nerv ebenso gut zurückschliessen können, wie umgekehrt aus der bekannten Erregbarkeit auf die Grösse des Reizes. Sichere Ablesung gestattete an meinem Multiplicator noch die Differenz von $\frac{1}{2}$ Grad Ausschlag der Nadel. War der Draht meines mit Wasser gefüllten Rheostaten ganz in die Höhe gezogen, so entsprach der dadurch in die Kette eingeführte Widerstand 1184 Millionen Meter normalen Kupferdrahtes von 1 □ Millimeter Querschnitt. Bei einer elektromotorischen Kraft von 829 wäre also das chemische Maass der dabei

erzeugten Stromstärke = $\frac{829}{1184000000}$. Bei diesem äusserst schwachen Strom gewann die Nadel eine bleibende Ablenkung von 3° .

Ich stellte die Frage, ob bei einer solchen Feinheit des Instrumentes die thatsächliche Incongruenz von Stärke des primären und des Polarisationsstromes noch in erheblichem Grade zu Tag träte, oder trotzdem noch verschwindend klein erscheine. Es ist klar: wüchse die Intensität der Polarisation proportional der primären Ströme, so würde auch proportional der letzteren die Nadel im Sinne des auf ihr lastenden Druckes vorrücken. Das Vorrücken der Nadel geschieht aber bei stetig wachsender Stromstärke nicht nach einem allgemein gültigen Gesetz der gradweisen Ablenkung, sondern je nach dem Maass der Astasie der Nadeln nach einem für einen bestimmten Zustand des individuellen Instrumentes gültigen und verwickelten. Es kann für die Dauer eines bestimmten Zustandes nur empirisch auf dem Weg der Graduirung gefunden werden, büsst aber seine Geltung mit dem Wechsel des Zustandes ein. Dieser Wechsel ist im Verlauf der Zeit unvermeidlich, innerhalb eines sehr kleinen Zeitintervalles aber äusserst gering, wenn ihn nicht Unvorsichtigkeit durch eine Unbill, welche die Nadel trifft, und leicht zu vermeiden und zu erkennen ist, inzwischen geändert hat. Abgesehen davon wird man innerhalb der Grenzen der Empfindlichkeit des Instrumentes bei zwei rasch hinter einander angestellten Versuchen aus der gleich grossen Ablenkung auf die Gleichheit der Kraft zurückschliessen können, welche die Deviation bewerkstelligt hat. Damit ist man der mühseligen Graduirung überhoben.

Die Stromstärke ist eine Function der elektromotorischen Kraft und der Widerstände, und wird bekanntlich als $S = \frac{E}{W}$ betrachtet, wobei E elektromotorische Kraft, W die Summe der Widerstände bezeichnet.

Ist keine Polarisation im Spiel, so bleibt der Werth von S unverändert, wenn der Quotient aus E und W gleich bleibt, wie gross auch immer E oder W für sich sein mag. Wenn also statt E $3E$ genommen wird, müssen wir auch $3W$ einschalten, um das gleiche S zu erhalten. In beiden Fällen wird die Galvanometernadel auf denselben Grad der Ablenkung getrieben. Wenn nun aber die Polarisation nicht mehr ausgeschlossen ist, so werden wir statt $3W$ einen anderen Widerstand einzuschalten haben, dessen Grösse offenbar von der Stärke und Dauer des Polarisationstromes abhängig ist.

In unseren Versuchen haben wir es immer mit sehr grossen Widerständen in einem Theil des Schliessungsbogens zu thun, sei es auch, dass nur der Nerv ohne weitere Flüssigkeiten in den Kreis eingeschlossen ist; denn schon 4—5 Millimeter des Schenkelnerven vom Frosch können 5—6 Millionen Meter Kupferdraht gleich sein, so dass also immer diese Widerstände, oder diese plus denen im Rheostat allein in Betracht kommen, die in der übrigen Drahtleitung und in der Kette dagegen ganz verschwinden.

Bleibt zweitens in unseren Versuchen bei dem Wechsel der elektromotorischen Kraft der primären Kette die Natur der differenten Theile des Schliessungsbogens, in welchen sich die Polarisation entwickelt und die Dauer des Stromes gleich, so bleibt sich auch die elektromotorische Kraft eben dieses Stromes gleich. Ändert sich drittens an der Stärke und Dauer des primären Stromes nichts, wenn wir mit E zugleich W entsprechend ändern oder umgekehrt, so bleibt auch die Stärke des Polarisationstromes gleich, weil diese ja von jener abhängt.

Wird nun ein primärer Strom durch das Drahtgewinde des Galvanometers geschickt, und ist dabei ein Polarisationstrom mit im Spiel, so ist die Wirkung beider auf die Nadel nichts anderes, als die der

Differenz beider, des primären und des Polarisationsstromes. Nennt man die davon abhängige Ablenkung α , so ist

$$\alpha = \frac{E}{W} - \frac{\varepsilon}{W} \quad 1)$$

wobei ε die elektromotorische Kraft des Polarisationsstromes bedeutet, W den allein in Betracht kommenden Widerstand in der Flüssigkeitssäule des Rheostat oder Nerv. Von dem letzteren sei vorläufig abstrahirt; wir denken uns den Strom nur durch jene gesandt. Ändert man jetzt E , und ändert W so, dass man wieder die ursprüngliche Ablenkung α erzielt, so wird

$$\alpha = \frac{nE}{xW} - \frac{\varepsilon}{xW} \quad 2)$$

Es ist also jetzt $\frac{E}{W} - \frac{\varepsilon}{W} = \frac{nE}{xW} - \frac{\varepsilon}{xW}$ 3), welche Gleichung für x schliesslich zu dem Ausdruck führt:

$$x = n + \frac{(n-1)\varepsilon}{E-\varepsilon}.$$

Man hat also die Widerstände nicht proportional der elektromotorischen Kraft zu verändern, sondern um etwas mehr, als wenn keine Polarisation im Kreis des primären Stromes entstanden wäre. Man kann den Polarisationsstrom in seiner *Endwirkung* auf die Nadel während der gleichzeitigen Dauer des primären Stromes auch unter dem Gesichtspunkt auffassen, als wenn er einen Zuwachs der Widerstände im primären Kreis darstellte.

Setzt man dann unter dieser Annahme den Einfluss des Polarisationsstromes auf die resultierende Nadelablenkung als P zu den Widerständen des primären Stromes, so erhält man für die gleiche Ablenkung α im einen Fall:

$$\alpha = \frac{E}{W + P}; \text{ im anderen}$$

$$\alpha = \frac{nE}{xW + P}$$

Aus $\frac{E}{W + P} = \frac{nE}{xW + P}$ wird dann schliesslich :

$$x = \frac{1}{W} (nW + (n - 1) P) \text{ oder}$$

$$= n + \frac{(n - 1) P}{W}.$$

Also auch nach dieser Auffassung, welche freilich an sich von einer hypothetischen Annahme ausging, kommt man zu einem ganz entsprechenden Ausdruck wie im ersten Fall, welcher die nicht zu bestreitende Annahme einer Differenzwirkung beider Ströme zu Grunde lag. Wir werden uns deshalb dieser Formeln später wieder bedienen können.

Ich habe zu verschiedenen Zeiten und bei verschiedenen Zuständen der Drahtenden in meinem Rheostaten Versuche angestellt, deren Ergebnisse jetzt mit der Aussage der eben entwickelten Formeln verglichen werden sollen.

Die Methode des Experimentirens war folgende. Eine Anzahl von Grove'schen Bechern, deren Zinkfläche vollkommen amalgamirt, deren Platin vollkommen rein, deren Diaphragma in allen ganz gleich und von bester Qualität war, wurde mit den stärksten Säuren gefüllt. Die Becher konnten säulenartig geordnet, je einzeln oder in grösserer Anzahl durch eine Wippe in den Kreis eingeführt werden, in welchem sich der grosse Multiplicator und der Rheostat befand. Die enge Glasröhre des Rheostaten hatte sich bei der sorgfältigsten Kalibrirung als vollkommen gleich weit in allen Höhen ihrer Querschnitte gezeigt. Die Widerstände der Flüssigkeitssäule in ihr mussten also proportional mit ihrer Länge wachsen. Die Anzahl der Becher war durch die Empfindlichkeit des Galvanometer auf drei beschränkt. Zuerst wurde der Strom der drei Ele-

mente bei sehr hoch aufgezogenem Rheostatendraht durch die Leitung geschickt und eine bleibende Ablenkung am Galvanometer erzielt. In der Regel dauerte es 5—6 Minuten, bis die Nadel zu Ruhe kam. Ihr Stand wurde dann notirt. Ebenso der des Rheostaten. Sofort wurde ein Element ausgeschaltet und der Rheostat so lange regulirt, bis die vorige Ablenkung wieder erzielt worden war. Nachdem die Nadel vollkommen in Ruhe war, zog man den Rheostatendraht so langsam als nur immer möglich und mit Vermeidung jeder Erschütterung empor, bis der Beobachter am Fernrohr eine eben bemerkbare Verrückung der Nadel wahrnahm. Der zugehörige Rheostatenstand ward notirt und dann der Nadel Zeit gegönnt bei dem ersten Rheostatenstand wieder auf dem ursprünglichen Grad ihrer Ablenkung zu Ruhe zu kommen. Der Rheostatendraht wurde hierauf ebenso langsam nach abwärts bewegt, so lange bis eben wieder eine kleine Verschiebung der Nadel beobachtet werden konnte. Nachdem der hiezu gehörige Rheostatenstand notirt war, wurde auch das zweite Element ausgeschaltet und das ganze Verfahren wiederholt, schliesslich schaltete man wieder die drei Elemente ein und verfuhr wie eben beschrieben worden. Die notirten Ablesungen am Rheostaten wurden zusammengestellt und die Mittel daraus gezogen, wie ich beispielsweise für die Füllung des Rheostaten mit einer Mischung aus 1 Volumtheil chemisch reiner concentrirter Kupfervitriollösung mit 250 Theilen Wasser hier aufzeichnen will.

I. Rheostatenstände bei der eben bemerkbaren Fortbewegung der Nadel nach Westen:

bei 3 Elementen	151	Centim.
bei 2 „	104	„
bei 1 „	51	„

II. Rheostatenstände bei der eben bemerkbaren Fortbewegung der Nadel nach Osten:

bei 3 Elementen 149,6 Cent.

bei 2 Elementen 99,8 Cent.
 bei 1 „ 49,8 „

III. Rheostatenstände für die Mitte beider Verschiebungen bei 45° Ablenkung der Nadel:

bei 3 Elementen 150,3 Cent.
 bei 2 „ 101,9 „
 bei 1 „ 50,5 „

Daraus ergeben sich folgende Verhältnisse:

aus I = 1 : 2,027 : 2,943
 aus II = 1 : 2,004 : 3,004
 aus III = 1 : 2,03 : 2,973

Und als Mittel aus den Mitteln von I und II = 1 : 2,015 : 2,99
 von I, II und III = 1 : 2,02 : 2,973

Bei einem zweiten zu einer anderen Zeit angestellten Versuch mit einer gleichen Mischung erhielt man für den 47^{ten} Grad der Ablenkung

bei 3 Elementen 148,4 Centim.
 bei 2 „ 98,8 „
 bei 1 „ 49,5 „

In einem dritten Versuch war die Füllung des Rheostaten eine Mischung von 1 Volumtheil concentrirter Kupfervitriollösung und 25 Theile Wasser. Für 83° Ablenkung der Nadel waren die Rheostatenstände

bei 3 Elementen 141,8 Centim.
 bei 2 „ 94,5 „
 bei 1 „ 47,2 „

Bei Füllung des Rheostaten mit einer Mischung von 1 Th. concentrirter Kupfervitriollösung mit 7 Th. Wasser ergaben sich die Rheostatenstände für 84° Ablenkung

bei 3 Elementen	154	Centim.
bei 2 „	102,6	„
bei 1 „	51,3	„

Wurde der Rheostat mit einer Mischung gefüllt, welche aus 1 Th. concentrirter Kupfervitriollösung und 500 Th. Wasser bestand, so wurde eine Ablenkung 24°

bei 3 Elementen durch	158	Cent.
bei 1 Element	52	„ erzielt.

Bei Füllung mit destillirtem Wasser allein gab die Ablenkung von $8,4^{\circ}$

bei 3 Elementen ein Rheostatenstand von	59	Cent.
bei 2 „ „ „ „	35,3	„
bei 1 „ „ „ „	17,5	„

Aus dieser möglichst sorgfältig angestellten Versuchsreihe ergibt sich, dass die Abweichungen von dem Verhältniss 1 : 2 : 3 in den Flüssigkeitshöhen der Rheostatensäule bei der Veränderung der elektromotorischen Kraft in dem gleichen Verhältniss überhaupt sehr wenig abweicht. In den Versuchen mit etwas mehr concentrirten Lösungen stehen die kleinen Abweichungen ebenso oft über, als unter demselben, und erweisen sich desshalb als Grössen, welche noch innerhalb der unvermeidlichen Fehlergrenzen liegen. Erst bei den sehr verdünnten Lösungen und dem Wasser werden die Abweichungen grösser, und liegen auf der von der Formel verlangten positiven Seite.

Bei schlechtem Zustand der gefirnissten Rheostatendrähte, oder wenn ihre Endflächen platinirt sind, kommen freilich viel grössere Abweichungen, aber ebenfalls im Sinne der Formel zum Vorschein. So erhielt ich in einem solchen Fall z. B. bei einer Füllung des Rheostaten mit 1 Th. Kupfervitriollösung auf 3000 Th. Wasser für 15° Ablenkung

bei 3 Elementen	140	Cent.
bei 2 „	85,7	„
bei 1 „	39,1	„

also ein Verhältniss von 1 : 2,19 : 3,5.

Bei gehöriger Sorgfalt lässt sich somit, wie man sieht, die Grösse der Polarisation im Rheostaten wenigstens bis zu der Grenze klein erhalten, bei welcher selbst der so äusserst empfindliche Multiplicator mit seiner astatischen Nadel selbst in den empfindlicheren Breiten seiner Theilung keinen erheblichen Nachweis mehr liefern kann. Erst bei den schwächsten Strömen gewinnt sie eine relative Oberhand, so dass sie sich nach der eben dargelegten Methode erkennen lässt.

An Empfindlichkeit ist aber der Nerv selbst dem Galvanometer weit überlegen, besonders wenn man es mit so kurz dauernden Strömen zu thun hat, wie bei der elektrischen Reizung. Wir können unser Verfahren dazu anwenden, um zu entscheiden, ob es bei den Versuchen mit polarisirbaren Elektroden, welche wir dem Nerv anlegen, zu einer die Messung entstellenden Polarisation kommt. Die Polarisation wächst mit der Stärke des primären Stromes, aber auch mit seiner Dauer, und es liesse sich denken, dass sie auch bei sehr flüchtigen und schwachen primären Strömen eine relativ beträchtliche Grösse gewinnen könne. Ich wende mich also jetzt zu den Versuchen, in welchen das galvanische Froschpräparat gerade so, wie es zur Prüfung seiner Reizbarkeit verwendet wurde, auch zur Prüfung der dabei auftretenden Polarisation im Stromkreis benützt worden ist.

Die Methode ist folgende:

An einem Stativ von Messing ist eine viereckige Platte von gleichem Metall verschieb- und feststellbar angebracht. Die Platte hat einen Längsspalt von 8 Centimeter Länge und 1 Cent. Breite, in welchem

eine starke Leiste aus Buchsbaumholz befestigt ist. Die Leiste lässt an ihrem vorderen Ende 1 Centimeter des Längsspalttes frei, besitzt sechs Bohrlöcher, in welche sechs Glasröhrchen eingekittet sind. In den Glasröhrchen selbst stecken sechs starke Kupferdrähte unverschiebbar, und diese sind oben mit breiten, abgerundeten, nicht scharfkantigen Platten aus Zinnblech versehen, deren obere Ränder parallel der Messingplatte verlaufen; die letzte Platte trägt an ihrer hinteren Fläche eine aufgekittete Glasbrücke. An der Stativstange befindet sich über der Platte ein horizontaler feststellbarer Arm. An seinem vorderen Ende kann eine Klemme befestigt werden, welche in einen Halter endigt, um den Muskel aufzuhängen. Der Halter hat die Gestalt eines Tasterzirkels im verkleinerten Maassstab, dessen beide Branchen mittelst zwei Stellschrauben gegen einander gepresst werden, die auf einer quer durch sie unter dem Charnier hindurchgehenden langen Schraube laufen.

Nachdem der Nerv in seiner ganzen Ausdehnung bis zum Austritt seiner Stämme aus den Intervertebrallöchern präparirt und blossgelegt, ein kleiner Hacken in der Knorpelmasse der Achillessehne befestigt, der Gastrocnemius frei gemacht und seine Sehne abgeschnitten ist, werden die Knochen des Ober- und Unterschenkels hart zu beiden Seiten des Kniegelenkes abgeschnitten und in die Röhren ihres Stumpfes die Spitzen des Halters eingefügt, so dass die Vorderfläche des Gelenkes nach aufwärts gegen das Charnier sieht. Wenn die Schraubchen angezogen sind, wird der Muskel mit seinem Halter in solcher Höhe über der Messingplatte befestigt, dass der über die Zinnschaufeln herübergebrückte Nerv einen rechten Winkel mit dem senkrecht herabhängenden Muskel bildet. Der Hacken in der Achillessehne ragt nach abwärts aus der noch freigelassenen Lücke des Längsspalttes hervor, und steht hier mit einem dergestalt übersetzten und in allen seinen Theilen vollkommen balancirten Fühlhebel in Verbindung, dass die Bewegung des daran angebrachten Zeigers den Ausschlag einer Zuckung in hundertmaliger Vergrösserung erkennen lässt.

Der Zweck dieser Einrichtung ist, dass man die leiseste mit dem Auge kaum mehr sichtbare Bewegung leicht erkennt, und darnach den Rheostatenstand regulirt, wenn man durch das eine oder andere Paar von Kupferdrähten den regelmässig vom Uhrwerk unterbrochenen Strom der Kette hindurchschickt. An dem Hacken in der Achillessehne hängt ein kleines Gewichtchen von 5 Grm., und nach jeder Zuckung lässt sich durch eine Schraube im Gestell des Fühlhebels dessen Zeiger wieder mit grosser Schnelligkeit auf Null zurückführen. Der Strom wurde nun bei jedem Reizversuch mit all den Cautelen, welche dabei nothwendig sind, so lange verstärkt, bis eine Zuckung von $\frac{1}{100}$ Millimeter erzielt wurde. Da die Versuche lange dauerten, musste ein mit nassen Papierstreifen im Inneren belegter Glassturz über dem Präparat auf der Messingplatte jeden Wasserverlust des Nerv und Präparates auf's sorgfältigste abwehren.

Man stösst häufig auf Präparate, bei welchen man Zuckungen von solcher Feinheit gar nicht erzielen kann. Sie zucken auch bei den schwächsten Strömen, welche sie überhaupt beantworten, sogleich sehr heftig. Diese sind nicht zu den Versuchen zu brauchen. Man kann nur solche benützen, welche die schwachen Reize ganz präcis und mit sehr kleinen Zuckungen beantworten. Denn das, worauf es hier vor Allem ankommt, ist, dass man durch den Reiz an Nerv und Muskel so wenig als möglich ändere. Treten aber nun starke Zuckungen auf, so weiss man nicht, ob man nicht an der Erregbarkeit des Nerv durch den schon stärkeren Strom etwas modificirt hat, oder ob die Energie der Muskelkräfte dabei sich nicht geändert hat. Dieses muss wenigstens vermieden werden, wenn man auch an den mit dem fortschreitenden Absterben des Nerv unvermeidlichen Aenderungen nichts aufhalten kann. Man sieht, ich habe auf solche Weise meine Methode zu messen mit der von Pflüger verbunden, indem ich eine bestimmte Grösse der Zuckung und die möglichste Abschwächung des Stromes, also dessen Grösse zugleich als Maass benützte.

Drei oder auch 6 ganz gleichartige Elemente, Grove'sche Becher von bester Qualität, wurden zu den Versuchen benützt, und der Strom eines einzelnen oder mehrerer der säulenartig geordneten Becher bei Regulirung des Rheostaten durch ein constantes Stück des Nerven geschickt, welches je 10 oder 15 Millim. Länge hatte, und dessen Anfang 5 Millimeter vor der Einsenkung in den Muskel entfernt war. Durch einen Gyrotrop konnte sehr rasch der Strom von einem oder von mehr Bechern durch den Nerv geschickt werden. Dabei wurde so verfahren, dass man z. B. zuerst ein Element in den Kreis aufnahm, dann zwei, dann eines, dann drei, dann eines u. s. f., oder zuerst eines, dann zwei, drei und wieder eines; oder eines, dann sechs, dann eines, dann zwei, dann eines u. s. w., kurz also nach einem solchen Prinzip, dass man eine richtige Vertheilung der Versuche für die Benützung der Mittelzahlen der Rheostatenstände von vorn herein schon in den Plan aufnahm, um dadurch die Folgen der unvermeidlichen Abänderung der Erregbarkeit im absterbenden Nerv möglichst zu eliminiren. Diesen einen Theil der Beobachtungen will ich zuerst mittheilen und dann der übrigen zur Berechnung noch nothwendigen weiter unten gedenken. Die Aufzeichnungen sind so geordnet, wie sie der Zeit nach während des Versuches wirklich gewonnen wurden.

I. Nerv.

I. Gruppe.		II. Gruppe.		III. Gruppe.		IV. Gruppe.	
Elem.	Rheostatenstd.	Elem.	Rheostatenstd.	Elem.	Rheostatenstd.	Elem.	Rheostatenstd.
1	44	1	62	2	106	1	51
2	97	2	138	1	46	2	110
3	142	1	61	3	144	1	47
15	43	2	137	1	39		
				2	92		
				1	40,5		

V. Gruppe.		VI. Gruppe.		VII. Gruppe.	
Elem.	Rheostatenstd.	Elem.	Rheostatenstd.	Elem.	Rheostatenstd.
1	38	1	38	1	36
2	91,5	2	95	2	78
3	126	3	121	1	32
1	38				

II. Nerv.

I. Gruppe.		II. Gruppe.		III. Gruppe.	
Elem.	Rheostatenstd.	Elem.	Rheostatenstd.	Elem.	Rheostatenstd.
1	50	1	45,7	1	34,7
2	98	2	87	2	56
3	137	3	115		

III. Nerv.

Elemente	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1
Rheostatenstände	12	20	12	38,5	12	45	13	79	12	87	13
Elemente	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1
Rheostatenstände	13	21,3	14	39,5	13,5	56	13	73	13,4	78	12
Elemente	1	2	3	1	4	5	1	6	1		
Rheostatenstände	12,5	22	38	11,5	51	76,5	10	83	10		

IV. Nerv.

Elemente	1	6	3	1	2	4	5	6	1	6	
Rheostatenstände	11	88	44	14	30	73	79	120	15	100	
Elemente	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	
Rheostatenstände	81	61	48	34	15	29	47,5	60	73	106	
Elemente	1	6	1	5	4	1	3	1	2	1	
Rheostatenstände	12	99	12	72	54,5	13	43	15	27,5	11,5	
Elemente	6	5	4	3	2	1	6	4	3	2	1
Rheostatenstände	111,5	67	49	38	23,5	10,5	93	59	35	23	11

		V. Nerv.									
Elemente	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1
Rheostatenstände	15,8	23	15	46,5	15,5	50,5	15,2	57	14	72	12
Elemente	1	2	1	3	1	4	5	1	6	1	
Rheostatenstände	11	17	9,5	24	8	29,5	43	7	44,5	6	

Um diese Beobachtungen für die Rechnung benützen zu können, muss man den Leitungswiderstand des zwischen den Elektroden liegenden Nervenstückes, in Centimetern der angewendeten Rheostatenfüllung ausgedrückt, kennen. Denn das, was zunächst gesucht werden soll, ist das Verhältniss der elektromotorischen Kraft zu den Widerständen im Gesamtschliessungsbogen, zu welchem ja das Nervenstück mitgehört. Die Multipla der elektromotorischen Kraft dürfen der Anzahl der Becher genau gleichgesetzt werden, wie auch der controlirende Versuch an der Tangentenboussole ergeben hat. Die Rheostatenablesungen sind also bei n elektromotorischer Kraft nach der Formel

$$Rh' = (n [Rh + N]) - N$$

zu ändern, wenn Rh nach Centimetern den Rheostatenstand bei Anwendung eines Bechers, und N den Leitungswiderstand des Nerv in Centimetern der angewendeten Füllung bezeichnet. Diesen Werth von Rh' hat man dann mit dem bei Anwendung von nE direkt abgelesenen Rheostatenständen zu vergleichen.

Der Leitungswiderstand des Nerven lässt sich entweder indirekt aus den mikrometrisch gemessenen Dimensionen (Länge und Querschnitt) und aus dem für die Froschnerven bekannten mittleren spezifischen Leitungswiderstand berechnen, oder direkt mit Hilfe unpolarisirbarer Elektroden, oder durch das Ausschalten des fraglichen Nervenstückes bei einem beliebigen Rheostatenstand, wobei man dann ermittelt, durch welche Flüssigkeitssäule des Rheostaten, die man zu der vorher im Schliessungsbogen befindlichen hinzufügt, wieder dieselbe Galvanometerablen-

kung erzielt werden kann, wie sie vor dem Ausschluss des Nerv beobachtet worden, wobei dann der Einfluss der Polarisation durch weitere Beobachtungen und Rechnung eliminirt werden muss. Alle drei Methoden können hintereinander in Anwendung gebracht werden, und sich gegenseitig controliren oder zur Herstellung der genauesten Mittelzahl benützen lassen. Bei sehr verdünnten Lösungen kommt es weniger auf die grösste Genauigkeit an, weil die Widerstände im Nerv dann nur Bruchtheile eines Centimeters der Füllung ausmachen, und man selten für mehr als $\frac{1}{2}$ Centimeter Flüssigkeitshöhe bei der Einstellung des Rheostaten im Reizversuch garantiren kann.

Folgendes sind die Leitungswiderstände der gereizten Nervenstücke in den fünf oben mitgetheilten Fällen, und zwar in Centimeter der angewendeten Rheostatenfüllung ausgedrückt:

I.	II.	III.	IV.	V.
7,5 Cent.	7,6 Cent.	0,5 Cent.	0,6 Cent.	0,6 Cent.

Wenn man nun aus den Mitteln der zusammengehörigen Versuchsgruppen die beobachteten und die nach der letzten Formel berechneten Rheostatenstände Rh' nebeneinander setzt, so gewinnt man einen Vergleich der Zahlen, welche hätten gefunden werden müssen, wenn keine Polarisation im Spiele wäre, mit denen von Rh , welche sich wirklich ergeben haben. Bei dieser Zusammenstellung sind die n fachen Multipla der Widerstände ($Rh + N$) zu Grunde gelegt, welche sich bei Anwendung eines Elementes für den Reizversuch nothwendig gemacht hatten. Hiernach wird man die folgende Tabelle leicht verstehen.

I.				II.				III.			
Rh+N	E	Rh'	Rh	Rh+N	E	Rh'	Rh	Rh+N	E	Rh'	Rh
		(beobachtet)				(beobachtet)				(beobachtet)	
51	2	94,5	97	55,9	2	94,2	98	13,1	2	26,2	21,6
51	3	145,5	142	53,3	3	152,3	137*	13	3	38,5	38,6
69	2	130,5	137,5	47,7	2	87,8	87	13,2	4	52,3	50,7
53	2	99,5	106	42,3	3	119,3	115	12,75	5	63,25	76,1
50	3	142,5	144					12,3	6	73,3	83,2
45,5	2	83,5	91,5								
45,5	3	129	126								
41,5	2	75,5	78								

IV.				V.			
Mittel aus allen Versuchen.				Rh+N	E	Rh'	Rh
Rh+N	E	Rh'	Rh				(beobachtet)
		(beobachtet)					
				14,8	2	29	23
13,3	2	26,6	26,3	15,85	3	46,9	46,5
13,2	3	39,9	42,9	14,75	4	58,4	50,5
13,3	4	53,2	57,3	14	6	69,4	57
13,3	5	66,5	72,8	12,4	6	73,8	72
13,3	6	79,8	103,3	9,65	2	18,7	17
				8,15	3	23,8	24
				6,9	4	27	29,5
				6,9	5	33,9	43

Ich habe hierbei *alle* meine Beobachtungen über diesen Gegenstand mitgeteilt, keine einzige verschwiegen. Eine Selbsttäuschung während des Versuches ist nicht möglich, durch welche man sich etwa könnte verleiten lassen, den Rheostatendraht etwas zu verschieben, um einer vorausgesetzten Höhe der Säule möglichst nahe zu kommen, weil dies bei manchen Füllungen der Spielraum der Fehlergrenze erlaubt. Das ist alles dadurch abgeschnitten, dass man bei den Reizversuchen den Widerstand des Nerven noch nicht kennt, und zweitens dadurch, dass man bei meiner Aufstellung den Fühlhebel vor sich im Auge, den Rheostat aber drei Fuss hinter sich hat und seinen Draht mittelst einer über

eine Rolle laufenden und mit dem Gegengewicht versehenen Schnur lenkt, so dass man auf 20—30 Centimeter Differenz nicht errathen kann, bei welchem Punkt der Flüssigkeitshöhe die Bewegung des Fühlhebels erfolgt ist.

Endlich sind nicht etwa nachträglich aus dem Gesamtmaterial die einzelnen Zahlen zur Aufstellung der Mittelwerthe herausgewählt worden, um eine vorgefasste Meinung zu bestätigen, sondern dem ursprünglichen Plan des Versuches getreu ihrem zeitlichen Eintritt nach.

Ueberblickt man nun die aus den 31 Gruppen gezogenen Mittelzahlen, so findet sich im Ganzen überhaupt keine sehr grosse Differenz zwischen R_h und R_h' , wenn man von dem mit einem Stern bezeichneten Ausnahmefall abstrahirt. In 7 Fällen kann man die Differenz absolut oder wegen ihrer in die Fehlergrenze fallenden Kleinheit als Null betrachten; in 15 Fällen zeigt sich eine Differenz im Sinne der Formel, welche eine Polarisation anzeigt, in 9 Fällen eine unbedeutende Differenz im entgegengesetzten Sinn. Davon treffen 4 allein auf den letzten Nerven, dessen Reizbarkeit in raschem Sinken begriffen war, und bei welchem jeder einzelne Fall für sich berechnet werden musste. Lässt man diesen ausser Spiel, so zeigt sich wohl sehr deutlich, dass die Polarisation während der Dauer eines Reizversuches nur schwach an unseren Elektroden zur Entwicklung kommt. Es lässt sich leicht zeigen, dass es in der That nur die Kürze der Stromdauer ist, welche dies bewirkt, und nicht die Natur der berührenden Flächen. Ich habe den Strom nach Beendigung der Reizversuche durch Nerv und Rheostat geschickt, und zwar jedesmal bei dem im Reizversuch gebotenen Stand des letzteren und zugleich durch den Multiplicator. Es wurde die bleibende Nadelablenkung in beiden Fällen abgewartet, was eine Stromdauer von 5—6 Minuten verlangte. Dann wurde der Rheostat bei Anwendung von n Elementen so regulirt, dass die Nadel wieder dieselbe Ab-

lenkung gewann, welche sich bei dem Strom *eines* Elementes gefunden hatte. Da zu den Versuchen fast immer Flüssigkeiten gewählt wurden, von welchen 1 Centimeter ihrer Säulenhöhe in dem Rheostaten mehrere Millionen Meter normalen Kupferdrahtes Widerstand bot, so sieht man leicht, dass der jetzt noch hinzukommende Widerstand im Drahtgewinde des Galvanometer, trotz seiner absoluten Grösse doch ganz vernachlässigt werden darf.

Ich stelle in der nächsten Tabelle die Beobachtungen so zusammen, dass man leicht übersieht, welcher Rheostatenstand (Rh') bei der Anwendung von n Elementen (E) nothwendig wird, um dieselbe Ablenkung (α) herzustellen, die man bei einem Element und dem für die Reizung nothwendigen Rheostatenstand (Rh) beobachtet hat.

E	Rh	α	Rh'	α
1	43,5	21°		
2	97	24°	113	24°
1	49	19,5°		
2	110	22°	130	19,5°
1	45,7	13,5°		
2	87	15,5	117	13,5°
1	34,7	16°		
2	56	20,5°	83,3	16°
1	12,6	21°		
2	21,1	27,5°	33,3	21°
1	12,5	21°		
3	38,6	27	59,4	21°
1	12,7	20,5°		
4	50,7	28,5	93	20,5°
1	12,25	21°		
5	76,1	27°	123,5	21°

E	Rh	α	Rh'	α
1	11,8	21,3		
6	83,2	29	160	21,3
1	12,7	17		
2	25,7	20	32,5	17
3	42,3	20,25	55,2	17
4	56,7	21,5	82,3	17
5	72,2	22	110	17
6	102,7	20,5	142	17
1	12,82	20°		
2	20	27	31,8	20°
1	12	20,5		
3	35,25	26	50	20
1	11,4	21,1		
4	40	29,5	68,2	21,1
1	10,9	22		
5	50	30	87	22°
1	10,7	22		
6	58,25	32	115,6	22°

Ganz ausnahmslos findet man also, dass zur Erzielung des gleichen galvanometrischen Effektes unter den gegebenen Umständen viel grössere Flüssigkeitssäulen bei Vermehrung der Elemente eingeschaltet werden müssen als zur Erzielung des gleichen physiologischen Effektes. Mit Ausnahme der Stromdauer sind dabei alle übrigen Umstände gleich; es kann also der Unterschied nur von der Differenz der Stromdauer in beiden Fällen abhängen.

Addirt man zu den Werthen von Rh und Rh' die zugehörigen in Centimeter der Flüssigkeitssäule des Rheostat ausgedrückten Widerstände der Nervenstücke, so erhält man folgende Reihe:

E	Rh + N	Rh' + N
2	104,5	120,5
2	117,5	137,5
2	94,5	124,5
2	63,5	90,8
2	21,6	33,8
3	39,1	59,9
4	51,2	93,5
5	76,6	124
6	83,7	160,5
2	26,3	33,1
3	42,9	55,8
4	57,3	82,9
5	72,8	110,6
6	103,3	142,6
2	20,6	32,4
3	35,8	50,6
4	40,6	68,8
5	50,6	87,6
6	58,85	116,2

Hieraus ergeben sich die Mittelzahlen: für Rh + N = 61,11,
für Rh' + N = 85,55.

Also das Verhältniss von 1 : 1,39.

Wenn man damit die Ergebnisse der Reizversuche vergleichen will, so hat man dazu die Resultate aus den oben mitgetheilten 31 Beobachtungsgruppen zu benützen. Man muss aus ihnen ebenso die Mittel für die Werthe von Rh + N und Rh' + N suchen, weil man auf diese Weise die von temporärer Reizbarkeitsänderung abhängigen Fehler am sichersten eliminirt.

Man erhält dann für Rh + N = 69,64,
für Rh' + N = 74,67.

Diess entspricht dem Verhältniss von 1 : 1,072.

Kehren wir nun zu den oben entwickelten Grundformeln zurück. Wir hatten die eine aufgestellt, welche die unzweifelhafte Thatsache ausdrückt, dass die Ablenkung der Magnetnadel eine Differenzwirkung zweier entgegengesetzt gerichteter Ströme sei, wenn sich im Kreis des primären Stromes irgendwo eine Polarisation entwickelt. Eine weitere Voraussetzung haben wir auf Grund der grössten Wahrscheinlichkeit gemacht, nämlich die, dass sich das Verhältniss beider Ströme zu einander so auffassen lasse, als wenn sich im Kreis des primären Stromes ausser den bekannten und direkt messbaren Widerständen noch ein weiterer befände, dessen Einfluss auf die Ablenkung dem entspricht, welchen der Polarisationsstrom auf die Verminderung der Stärke des primären Stromes hat.

Es waren diess die beiden Gleichungen

$$1) \frac{E}{W} - \frac{\varepsilon}{W} = \frac{nE}{xW} - \frac{E}{xW} \text{ und}$$

$$2) \frac{E}{W + P} = \frac{nE}{xW + P} \text{ oder } \frac{E}{W + P} = \frac{E'}{W' + P}$$

Die Beobachtung gibt eine hinlängliche Anzahl von Grössen direkt, um aus diesen Grundgleichungen sowohl P , als ε , als $\frac{\varepsilon}{W}$ für den Zeitpunkt der Beobachtung zu finden. Er ist ausserordentlich klein von dem Moment an gerechnet, in welchem wir den primären Kreis schliessen, bei den Reizversuchen, gegen 6 Minuten lang dagegen in den anderen, in welchen wir die neue Gleichgewichtslage der Nadel unter dem Einfluss *derselben* Ströme haben vollkommen herstellen lassen.

Suchen wir nun die eben bezeichneten Unbekannten aufzufinden, so ergibt sich für P aus der 2. Gleichung der Werth:

$$P = \frac{EW - E'W}{E' - E}$$

Bei den Reizversuchen hatten wir als mittleres Multiplum der elektromotorischen Kraft *eines* Bechers

$$E' = 3,355.$$

$$\begin{aligned} \text{Setzen wir } W = 1, \text{ so haben wir } W' &= 3,355 \times 1,072 \\ &= 3,59656. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daraus finden wir } P &= \frac{0,2410}{2,355} \\ &= 0,102. \end{aligned}$$

Der Effekt des Polarisationsstromes war hier also gleich der Vermehrung der schon vorhandenen Widerstände im primären Kreis um 0,102.

Die beiden Glieder der Grundgleichung werden also 0,9 statt 1.

Bestimmt man dieselbe Grösse für die Galvanometerversuche, in welchen der Strom so ausserordentlich viel länger dauerte, so hat man dabei mit $E' = 3,58$ und $W' = 3,58 \times 1,39 = 4,9762$ zu rechnen und erhält für P den Werth:

$$P = 0,541.$$

Die beiden Glieder der Grundgleichung sind hier also statt 1

$$= 0,648.$$

Geht man von der 1. Grundgleichung aus, so kann man die elektromotorische Kraft des Polarisationsstromes für den Moment finden, in welchem man seine Wirkung beobachtet. Man kommt durch Auflösung der Gleichung schliesslich zu dem Ausdruck:

$$\varepsilon = E \frac{x - n}{x - 1}.$$

Bei den Reizversuchen haben wir als mittleren Werth von n 3,3, von $x = 3,6$.

$$\begin{aligned} \text{Daraus ergibt sich } \varepsilon &= \frac{0,3}{2,6} \\ &= 0,115. \end{aligned}$$

Bei den Galvanometerversuchen ist $n = 3,58$, $x = 4,976$.

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{1,396}{3,976} \\ &= 0,351.\end{aligned}$$

Nun lässt sich weiter auch die Stärke des Polarisationsstromes im Vergleich zu dem primären finden, wenn man aus der ersten Grundgleichung $\frac{\varepsilon}{W}$ entwickelt; dann wird

$$\frac{\varepsilon}{W} = \frac{E}{W} + \frac{\varepsilon}{x} - \frac{nE}{x}.$$

Bei den Reizversuchen ergibt sich dann hierfür der Werth von

$$\frac{\varepsilon}{W} = 0,07;$$

bei den Galvanometerversuchen:

$$\frac{\varepsilon}{W} = 0,2105.$$

Setzt man die gefundenen Werthe in beiden Fällen in die erste Grundgleichung ein, so erhält man für die Reizversuche:

$$\begin{aligned}1 - 0,07 &= 0,933 - 0,032 \\ 0,9 &= 0,9,\end{aligned}$$

für die Galvanometerversuche:

$$\begin{aligned}1 - 0,351 &= 0,719 - 0,070 \\ 0,649 &= 0,649.\end{aligned}$$

Das sind dieselben Zahlen, wie wir sie für die beiden Glieder der zweiten Grundgleichung gefunden haben, was somit die Aufstellung der letzteren vollkommen rechtfertigt.

Wenn man nun die Resultate für beide Beobachtungsreihen übersichtlich zusammenstellt, so ergibt sich Folgendes:

	für die Reizversuche	für die Galvano- meterversuche
Einfluss des Polarisationsstromes als Zu- schuss zu den Widerständen ($= 1$) im primären Kreis gedacht $= P$	0,102	0,541
Elektromotorische Kraft des Polarisations- stromes im Zeitmoment seiner Rück- wirkung im Verhältniss zu $E (= 1)$ ε	0,115	0,351
Stärke des Polarisationsstromes im Ver- hältniss zum primären ($= 1$) in je- nem Moment $= \frac{\varepsilon}{W}$	0,07	0,2105
Rest der Wirkung des primären Stro- mes ($= 1$) in jenem Moment $\frac{E}{W} - \frac{\varepsilon}{W}$	0,9	0,65

Bei der Betrachtung dieser Reihe erkennt man sogleich viele der Verhältnisse wieder, welche aus der Lehre von der Polarisation bekannt sind. Man findet jenes rasche Ansteigen ihrer Grösse mit der Dauer des primären Stromes und findet es erklärt in der Zunahme der elektromotorischen Kraft des Polarisationsstromes, welches ja bei gleichbleibenden Widerständen im ganzen Kreis der Kette gar nicht anders gedacht werden kann. Wir haben dabei aber die Mittelzahl aus Versuchen mit nur wenig von einander bezüglich ihrer Stärke verschiedenen Strömen vor uns. Ueberraschen muss, dass bei der ausserordentlich kurzen Dauer der reizenden Ströme schon $\frac{1}{10}$ von der Stärke des primären Stromes

absorbirt ist und man könnte glauben, dass dadurch die Verhältnisse der Rheostatenablesungen zu einander im einfachen Reizversuch sehr wesentlich gegenüber den wirklichen Verhältnissen der angewendeten Stromstärken beeinträchtigt werde; denn wie von der Dauer ist die Grösse des Polarisationsstromes ja auch von der Stärke des primären abhängig. Wenn wir also z. B. Anfangs einen sehr hohen, später einen sehr niedrigen Rheostatenstand nothwendig haben, um den Minimalwerth der Zuckung zu erzielen, so könnte ja das Verhältniss von $\frac{E}{W} - \frac{\varepsilon}{W}$: $\frac{E}{W'} - \frac{\varepsilon}{W'}$ ein sehr viel anderes sein, als das von $W : W'$, was wir allein bei der Beobachtung ins Auge fassen.

Diess ist nothwendig der Fall, wenn die Stromstärken $\frac{E}{W}$ und $\frac{E}{W'}$ in hohem Grade von einander abweichen. Wählen wir aber von unseren Rheostatenversuchen schon sehr extreme Grade als Beispiel. Man hätte einmal den Rheostatenstand 150 Cent. und später den von 10 Cent. Wassersäule nöthig gehabt. Dann würden sich die Stromstärken, abgesehen von der Polarisation, wie 1 : 13 verhalten, wenn man die Widerstände von c. 5 Millim. Nerv mit einrechnet. Nun haben wir aber im Früheren gezeigt, dass sich die Stärke des Polarisationsstromes bei solchen Differenzen des primären nur sehr wenig ändert und es wird als sehr nahezu $\frac{1}{10}$ von den Widerständen im einen wie im anderen Fall als P hinzutreten und das Verhältniss der restirenden Stromstärken in keiner nennenswerthen Weise von dem der abgelesenen Rheostatenstände abweichen.

Eine weitere nicht uninteressante Frage ist aber die: Ist das P unserer Formel wirklich nichts anderes als die der Polarisation in ihrer Wirkung entsprechenden Grösse?

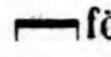
Setzen wir den Fall, der Reizversuch hätte nur 10 Cent. Wasser-

säule im Rheostaten verlangt und wir hätten als E des Grove'schen Bechers 829, so wird die Stromstärke 0,00001 d. h. so viel Cub. Cent. Knallgas lieferte dieser Strom per Minute, also $\frac{1}{60}$ davon per Sekunde. Brauchte nun der Strom in dem Nerv eine so lange Dauer, bis die Erregung zu Stande kommt, als die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung durch das gereizte etwa 5 Millim. lange Stück beträgt, so erhielten wir c. 0,002 Sek., eine Zahl, welche ganz gewiss nicht zu klein ist. Fragen wir nun, wie viel Knallgas in dieser Zeit producirt wird, so erhalten wir eine so ausserordentlich kleine Zahl, dass man sich kaum eine Vorstellung davon machen kann, wie *diese* Gasmenge schon $\frac{1}{10}$ der Stromstärke eines Grove'schen Bechers compensiren sollte.

Freilich kann man sich überzeugen, dass zum Entstehen der Polarisation, wenn man sie überhaupt von der Gasausscheidung abhängig denkt, schon sehr kleine Mengen dieser Produkte hinreichen. Bei einem primären Strom, dessen Stärke im chemischen Maass ausgedrückt 0,00002 und dessen Dauer nur einige Bruchtheile einer Sekunde war, konnte ich auf die gewöhnliche Weise durch Umlegen der Wippe noch eine Nadelablenkung von 2 Grad erzielen. Dieser Ausschlag hätte wohl mehr als fünfmal so gross sein müssen, wenn der Polarisationsstrom $\frac{1}{10}$ des primären betragen hätte, allein man kann einwenden, dass zwischen Oeffnen des primären Kreises und Schliessen des neuen immerhin ein solcher Zeitverlust stattgefunden habe, in welchem die besonders anfangs so rasch erfolgende Verminderung des Polarisationsstromes schon verhältnissmässig weit vorgeschritten war.

Gleichwohl lässt sich experimentell zeigen, dass bei der Anwendung von Zinnelektroden nur dann eine wahre Polarisation im Reizversuch stattfindet, wenn schon verhältnissmässig starke Ströme durch den Erregbarkeitsgrad der Nerven geboten sind. Unter „wahrer Polarisation“ verstehe ich einen solchen Vorgang an der Berührungsfläche von Nerv

und Elektroden, welcher als galvanischer Strom am Rheoskop sich erkennen lässt. Bei der kurzen Stromdauer im primären Kreis, und bei der Nothwendigkeit, in kürzester Frist nach Unterbrechung desselben schon die volle Wirkung des Polarisationsstromes zur Anschauung zu bekommen, erkennt man leicht, dass man mit der trägen Nadel des Galvanometer nicht mehr ausreicht und also abermal zum physiologischen Rheoskop seine Zuflucht nehmen muss. Der einzige Fehler, welcher bei der Anordnung des Versuches, wie ich ihn angestellt habe, entsteht, ist der, dass der primäre Strom länger dauert, als Zeit zur Nervenreizung durch ihn nothwendig ist, ein Fehler, welcher dem, was ich zu beweisen beabsichtige, noch entgegen ist, also um so weniger in Betracht kommt. Ich werde darauf zurückkommen, sobald ich das ganze Verfahren geschildert habe. Sein Prinzip beruht auf Folgendem: Es soll durch das Hereinbrechen des primären Stromes in ein Stück Nerv des galvanischen Froschpräparates, dessen gastrocnemius zu einer Zuckung veranlasst werden, bei welcher der Beginn des Hubes den primären Kreis unterbricht, und in demselben Augenblick den an den Elektroden entwickelten Polarisationsstrom durch den Nerv eines zweiten Präparates schiekt. Ist ein solcher Strom vorhanden, so zucken beide Präparate scheinbar ganz gleichzeitig, ist keiner vorhanden, so zuckt nur das erste Präparat und man untersucht die Stromstärken, bei welchen das Eine oder Andere der Fall ist.

Die Ausführung dieses Versuches lässt sich in eleganter und zu Demonstrationen auch sehr geeigneter Form folgendermassen bewerkstelligen: Auf einem Stativ, welches eine verstellbare Platte aus künstlicher Kammmasse trägt, befinden sich zwei Quecksilbernäpfehen von Horn. Zwischen ihnen erhebt sich eine kleine Säule, welche auf ihrem Gipfel das Lager für einen  förmig gebogenen starken Kupferdraht trägt. In der Mitte des horizontalen Drahtstückes ist ein kleiner Doppelkegel festgeniethet, dessen Spitzen sich in den konisch ausgehöhlten

Stellschrauben des Lagers drehen können. Ausserdem befindet sich am Kupferdraht über seinem Hypomochlion eine kleine Klemme zur Einführung eines sehr weichen spiralförmig gedrehten Kupferdrähtchens. Zwei weitere Klemmschrauben befinden sich ausserdem auf dem Tischchen, festgeschraubt, um die in die Näpfschen eintauchenden Drähte zu fixiren. Das Präparat I, welches durch den primären Strom gereizt werden soll, besteht aus dem Kniegelenk, dem gastrocnemius und dem isolirten Schenkelnerv.

Der letztere kommt über die Zinnschaufeln des schon oben beschriebenen Apparates. In die Sehne des Muskels wird ein Glashacken eingeführt, an dessen unterer Oese ein Kettchen hängt. Dieses wird mit seinem unteren Ende in ein kleines Loch im horizontalen Arm des Kupferbügels eingehackt, und zwar ist der Abstand des Loches vom Hypomochlion nur $\frac{1}{4}$ der halben Länge des horizontalen Drahtstückes. Das Präparat II besteht aus dem isolirten Schenkelnerv und dem ganzen Unterschenkel. Das Knie ist aufgespiesst, der Unterschenkel steht senkrecht aufwärts unter seiner Glasglocke über dem Loch eines Glastellers, welche über einem mit Wasserdunst erfüllten Becherglas steht. Der Nerv hängt in dessen Raum herab über zwei Kupferdrähte von beiläufig 1 Centim. Spannweite, welche wohl von einander isolirt durch eine zweite sonst verschlossene Bohrung im Glasteller nach aussen hervorragen. Hat man sich diese Theile schematisch skizzirt, so wird es zum Verständniss genügen, wenn ich die Stücke des kleinern Apparates in der Reihe namhaft mache, wie sie durch überspinnene, durch die Luft geführte Kupferdrähte mit einander zu verbinden sind. Vorbemerken muss ich noch, dass ich unter Endklemmen der Stromleitung diejenigen Klemmen verstehe, in welchen einerseits die weitere Leitung fortgeführt wird, andererseits die von der Kette her durch das Uhrwerk und den feuchten Rheostaten geführte aufhört. Die eine heisse also die „+ Endklemme“, die andere die „— Endklemme“.

(+ Endklemme zum Quecksilbernapf a für den Muskel des Präparates I.)

(Klemme am Kupferbügel zur Zinnelektrode 1 für den Nerv des Präparates I durch den kleinen Spiraldraht.)

(Zinnelektrode 2 für den Nerv des Präparates I zur — Endklemme.)

(— Endklemme zur Kupferelektrode 1 des Präparates II.)

(Kupferelektrode 2 des Präparates II zum Quecksilbernapf b.)

Hat man sich dieses Schema aufgezeichnet, so wird man den Sinn der Anordnung leicht verstehen. Vor Beginn der Reizung taucht der senkrechte Arm des Kupferbügels, dessen Fusspunkt aufs sorgfältigste amalgamirt ist, so in das Quecksilber des Napfes a, dass seine aufgezogene Kuppe den Kreis des primären Stromes eben noch schliesst, wenn die Unterbrechung vor den Endklemmen aufgehoben wird. In diesem Augenblick zuckt der Muskel des Präparates I. Sein Hub, wenn auch noch so klein, dreht den Kupferbügel und drückt den zweiten senkrechten Arm, dessen amalgamirter Fusspunkt vorher ganz dicht über dem Quecksilberspiegel im Napf b gestanden hatte, in das Quecksilber. In diesem Moment ist in a der primäre Strom unterbrochen, dagegen sind die Zinnelektroden und Nerv des Präparates I mit dem Nerv und den Kupferelektroden des Präparates II verbunden; und wenn dort ein Polarisationsstrom entwickelt worden, erzeugt er hier sofort die Zuckung. Der schwache Druck der Spiralfeder wirkt dem Zug des Muskels mit einem Gewicht von vielleicht 5—8 Gramm entgegen und macht, dass nach jeder Zuckung der Fuss des Bügels auf Seite des Napfes a den Quecksilberspiegel wieder erreicht. Liegt also vor den Endklemmen keine weitere Unterbrechung, führen zu ihnen also z. B. direkt die Poldrähte eines Bechers, so wird der Strom mit der Geschwindigkeit einer Zuckung immer wieder unterbrochen, dann geschlossen, dann wieder unterbrochen, so dass im Präparat I ein vollkommener Tetanus zu Stande

kommt, welcher begleitet ist von einem Tetanus im Präparat II. So lässt sich also durch den Polarisationsstrom, welcher sich an der Berührungsstelle von Nerv und Zinn im einen Präparat entwickelt hat, ein Tetanus im zweiten Präparat erzeugen. Statt des Quecksilbers kann man sich mit noch mehr Sicherheit blanker Kupfer- oder Platinflächen bedienen, in welche die sonst in das Quecksilber laufenden Drähte unmittelbar endigen; die Fusspunkte des Bügels sind dann ebenfalls rein metallisch und ohne Amalgam.

Bei Anwendung des Quecksilbers ist die äusserste Reinlichkeit nöthig; die feinste Oxydhaut auf seiner Oberfläche kann machen, dass während der schnellen Schwankung des Bügels am einen oder anderen Fusspunkt ein feines Quecksilberfädchen hängen bleibt, und der primäre Strom dadurch einen Weg in die für den Polarisationsstrom bestimmte Leitung findet. Bei Anwendung von Quecksilber muss man sich immer wieder versichern, dass beim schnellsten Schwingen des Bügels keine Zuckung im zweiten Präparat entsteht, wenn der Nerv des ersten von seinen Zinnschaukeln abgehoben ist. Ich construirte deshalb später den am Ende dieser Abhandlung ausführlichen beschriebenen und auf der VII. Tafel abgebildeten Apparat.

Ist nun im Kreis des primären Stromes der feuchte Rheostat eingeschaltet, so kann man ermitteln, bei welcher Stromstärke die Polarisation so gross geworden, dass sie Zuckungen im anderen Präparat erzeugt, wenn ihr Strom discontinuirlich durch dessen Nerv geschickt wird.

1) Wendet man den vollen Strom der Kette ohne Einschaltung des Rheostat bei der Auflagerung des Nerv auf Zink an, so erhält man jedesmal Zuckung im Präparat II.

2) Ist der Rheostat eingeschaltet und mit einer Mischung von 10 Volumtheil concentrirter Kupfervitriollösung auf 250 Wasser gefüllt, so erhält man bei 155 Centim. Flüssigkeitshöhe noch starke Zuckung im Präparat II.

3) Ist die Rheostatenfüllung 1 Kupferlösung auf 60 Wasser, so zuckt das Präparat I im Minimum bei 120 Cent.

Das Präparat II zuckt erst, wenn der Rheostatenstand bis auf 18 Cent. erniedrigt worden.

4) Bei einer Rheostatenfüllung von 1 Kupferlösung auf 250 Wasser zuckt

Präparat I bei 60 Cent.,

Präparat II erst bei 5,5 Cent. gleichzeitig.

5) Füllt man endlich den Rheostat mit destillirtem Wasser, so zuckt

Präparat I bei 8 Cent.,

Präparat II erst bei 0,2 Cent. gleichzeitig.

Was wir also früher bei längerer Dauer des primären Stromes mit Hilfe der Galvanometernadel haben nachweisen können, dasselbe zeigt uns für so kurze Stromdauer das physiologische Rheoskop wieder: Je verdünnter die Kupferlösungen im Rheostat sind, desto näher seinem Nullpunkt liegt die Grenze des Polarisationsstromes, welcher mit unseren Hilfsmitteln noch kann nachgewiesen werden. In den früheren Versuchen blieb die Annahme offen, dass eine erhebliche Polarisation wenigstens ihrem relativen Werth nach noch vorhanden sein könnte, welche wir wegen zu geringer Empfindlichkeit unserer Instrumente nur nicht mehr im Stande wären zu erkennen. Dem Nerv kann dieser Vorwurf nicht gemacht werden.

Um aber unsere oben aufgeworfene Frage zu entscheiden, bedürfen wir noch einer anderen Versuchsreihe, welche die Stromstärke bestimmt, bei welcher das II. Präparat für sich zuckt. Dazu bedarf man möglichst reizbarer Nerven, damit man Rheostatenstände anwenden kann, bei welchen nach den eben angeführten Versuchen noch lange keine Zuckung durch Polarisation erfolgt. Ich nehme desshalb auch 30—40

Millim. lange Stücke ihrer Nerven zwischen die Elektroden. Der Nerv des Präparates II wird zuerst mit dem schwächsten eben ausreichenden Strom gereizt und zwar diejenige Stromrichtung gewählt, welche gleich ist der Richtung, in der den Nerv der zu erwartende Polarisationsstrom durchfließt. Ist der zugehörige Rheostatenstand notirt, so wird durch eine Wippe sofort der entgegengesetzt gerichtete Strom durch den Nerv des I. Präparates geschickt, notirt, bei welchem Rheostatenstand dieses zuckt, und dann derjenige, bei welchem in Folge des entwickelten Polarisationsstromes das II. Präparat eben im schwächsten Maass zu zucken anfängt.

Hat man gleichzeitig mit dem Myographion, dessen Hebel in meiner Vorrichtung die Verkürzung des Muskels in $4\frac{2}{5}$ maliger Vergrößerung darstellt, die Zuckungskurve des I. Präparates aufschreiben lassen, und die Entfernung des Fusspunktes am Bügel von der Contactfläche a gemessen, so lässt sich daraus sowohl die Dauer des primären Stromes als die Zeit bestimmen, welche zwischen dem Oeffnen des primären Kreises und dem Schliessen des Polarisationskreises durch den Nerv des II. Präparates verstreicht. Die Dauer des primären Stromes ist nämlich gleich der an der Curve zu messenden Zeit, welche verstreicht, bis diese die Abscissenaxe verlässt; denn in diesem Moment wird der Contact bei a aufgehoben. Der zweite Zeitraum entspricht derjenigen Länge der Abscissenaxe, welche von jenem Punkt bis zu der Ordinale reicht, deren Höhe $4\frac{2}{5}$ mal grösser ist, als der Zwischenraum zwischen dem Fusspunkt des Bügels und der Contactfläche b. Wir erhalten auf diese Weise für die Dauer des primären Stromes 0,008 Sec., für den zweiten Zeitraum 0,003 Sec. im Durchschnitt.

T. 5. I. Im einen Fall war der Rheostat mit Wasser gefüllt. Dabei zuckte das Präparat I bei 25 Cent., das Präparat II nicht. Das Präparat II zuckt für sich bei dem Rheostatenstand 25. Das Präparat II zuckt gleichzeitig mit Präparat I, wenn der Rheostatenstand bis auf 0,5 erniedrigt ist.

II. In einem zweiten Fall war der Rheostat mit 1 Thl. concentrirte Kupfervitriollösung und 500 Wasser gefüllt. Das Präparat I zuckt bei 145 Cent., Präparat II dabei nicht gleichzeitig. Diess geschieht erst, nachdem der Rheostatenstand bis auf 10,83 erniedrigt ist. Präparat II zuckt für sich bei 128 Rheostatenstand.

III. In einem dritten Fall war die Füllung des Rheostaten eine Mischung von 1 Thl. Kupfervitriollösung auf 1000 Thle. Wasser. Das Präparat I zuckte bei 145. Das II. Präparat gleichzeitig erst dann, als der Rheostatenstand auf 12 Cent. herabgerückt worden, während Präparat H für sich bei 155 zuckte.

Mittelst dieser Beobachtungsreihe lässt sich nun durch Rechnung unsere Frage entscheiden. Zuerst muss ermittelt werden, in welchem Verhältniss die für Präparat I hergestellte Stromstärke (an der äussersten Grenze, an welcher sie eben einen vom zweiten Präparat angezeigten Polarisationsstrom entwickelt) zu der Stromstärke steht, bei welcher das Präparat II für sich zuckt. Dabei sind aber die Widerstände der gereizten Nervenstücke in Centimeter der angewendeten Rheostatenfüllungen mit einzurechnen. Die Stromstärken können dann umgekehrt den gemessenen Widerständen proportional gesetzt werden. Es ergeben sich folgende Zahlen:

	I	II	III
a) Widerstände, wenn I für sich zuckt	26,4	149,8	146,7
b) Widerstände, wenn II für sich zuckt	29,3	142,1	160
c) Widerstände für I, wenn II gleichzeitig durch den Polarisationsstrom zuckt erregt	1,9	11,36	13,7

Sonach wird das Verhältniss der Stromstärken zwischen b und c

für I 0,07,

„ II 0,079

„ III 0,08.

Im Mittel also verhält sich der primäre Strom zum Polarisationsstrom wie 1 : 0,076. Um dieses Ergebniss aber mit dem vergleichen zu können, was wir nach der ersten Methode erhalten haben, ist es nothwendig, die Mittelzahlen der angewendeten Stromstärken in der einen und anderen Gruppe von Beobachtungen auf dieselbe Einheit zu reduzieren, denn jenes Verhältniss ändert sich ja mit den Stromstärken. Als wir mit Hilfe der Multipla von E die Grösse des Polarisationsstromes aufsuchten, hatten wir für den mittleren Werth der Widerstände die Zahl:
48775504 Meter Normal-Kupferdraht.

In der zuletzt mitgetheilten Beobachtungsreihe waren die mittleren Widerstände

$$= 55079945.$$

Wir erhalten also sehr nahezu die gleiche Stromstärke in beiden Reihen, und in beiden so nahe, als diess hier überhaupt erreichbar ist, die gleichen Werthe für den dabei entwickelten Polarisationsstrom, nämlich 0,07 bei der ersten Gruppe als Zahl für $\frac{\varepsilon}{W}$, und 0,076 für seine Stärke bei der zweiten Gruppe.

Die Widerstände, bei welchen in Präparat I Zuckungen auftraten, ohne dass solche in Präparat II entstanden, waren $= 368652427$ Meter Normal-Kupferdraht. Die Stromstärken, welche bei der ersten Gruppe nothwendig waren, betragen mehr als das Siebenfache von denen, welche bei der zweiten Gruppe gefordert wurden, um einen Minimalwerth der Zuckung zu erlangen. Die erste Gruppe fällt in die Experimentirzeit des Sommers, wobei weniger reizbare Frösche und Nerven in Anwendung kamen, deren Querschnitte grösser waren, als bei den Nerven, welche im Winter zur zweiten Beobachtungsgruppe verwendet worden.

Es ist also unsere Frage dahin erledigt, dass der Verlust an der Stärke des primären Stromes in der ersten Versuchsreihe in der That von dem abzuleiten ist, was wir im strengen Sinn des Wortes unter

Polarisation verstehen. Ich habe die zweite controlirende Beobachtungsreihe deswegen angestellt, weil ich wissen musste, ob das P der obigen Formel nicht selbst schon eine Summe ist, wovon das eine Glied die durch den chemischen Zersetzungsprozess bedingte Polarisation, das andere Glied aber eine Grösse darstellt, welche von dem Strömen dessen abhängt, was wir eben unter Elektrizität verstehen. Wie immer unsere Auffassung von deren Wesen ist, wir werden darin einen Bewegungsvorgang sehen müssen, und bei Bewegungen, welche sich durch ungleichartige Bahnen fortsetzen, liegt die Annahme sehr nahe, dass sich bei dem Uebergang der Bewegung von dem einen Medium in das andere möglicherweise mechanische Hindernisse geltend machen, welche eben den Werth von P in unserer Grundformel mit bestimmen müssten. Unter dem Namen des „Uebergangswiderstandes“ hat man ja zuerst das Phänomen der Polarisation aufgefasst. Die Folgen eines solchen könnten auf die Ergebnisse der ersten Beobachtungsgruppe influiren, niemals aber auf die der zweiten. Da wir nun aber durch beide auf denselben Werth von P geführt worden sind, so ist erwiesen, dass wir es in unserem Fall *nur* mit der von der Zersetzung abhängigen Polarisation zu thun haben.

Damit ist zugleich die erste und sehr einfache Methode die Polarisation in jedweder Leitung mit der Galvanometernadel nach längerer Dauer des primären Stromes quantitativ zu messen gerechtfertigt, sowie auch für den Fall eines nur momentan bestehenden äusserst schwachen primären Stromes durch das physiologische Rheoskop.

Für die Reizversuche haben wir dadurch die nöthigen Anhaltspunkte gewonnen, um zu wissen, von welchen Grenzen der Stromstärke an wir die Polarisation nicht mehr vermeiden, wie wir sie dann aber durch Anwendung der Multipla von Elementen leicht bestimmen und ihren Einfluss auf die Rheostatenablesungen durch Rechnung eliminiren können. In vielen Fällen wird diese Methode zu Statten kommen, wo die Anordnung des Versuches oder die Fragestellung beim Experiment

die Anwendung nicht polarisirbarer Elektroden, wie sie uns Du Bois kennen gelehrt hat, verbietet.

Auf der VII. Tafel ist übersichtlich die ganze Anordnung des Versuches dargestellt, und genauer die Wippe abgebildet, mittelst welcher der am einen Nerv entwickelte Polarisationsstrom zum Nerv eines zweiten Präparates gesendet wird. In Fig. 1 ist die Wippe in wirklicher Grösse abgebildet, während die anderen Geräthschaften mehr schematisch gehalten sind. Die Glasplatte GG, deren Breite 3 Centim. beträgt, hat drei Durchbohrungen, durch welche die Schraubengewinde von den drei Messingsäulen E, S, S' hindurchgehen. Das in dem hohlen Messingstativ St verstellbare und mittelst der Schraube k zu fixirende Stück dient als Mutter, um die Glasplatte festzuhalten; dasselbe gilt von den Muttern tt und tt'. Die obere Säule E trägt in einer Gabel (M Fig. 2) an ihrem oberen Ende, welche man in Fig. 2 von der Seite sieht, in Spitzen laufend die Kugel B Fig. 2 und u Fig. 1, durch deren Axe hindurch der auf Fig. 1 mit B bezeichnete Kupferbügel geht. Die Fusspunkte dieses Bügels haben Platinsohlen, ebenso wie die in den beiden Säulchen S und S' auf nieder zu schraubenden Köpfe oo' mit Platin beschlagen sind.

Die in dem Bügel festgeschraubte Feder F drückt, so lange kein Zug an der Kette des Bügels nach aufwärts wirkt, den einen Fusspunkt desselben gegen den Schraubenkopf o. Die Kugel B (Fig. 2) endigt nach oben in einen Zapfen z, auf welchem die Drahtklemme Dk (Fig. 1) befestigt werden kann. Nach abwärts endigen unterhalb der Glasplatte die Säulen S und S' in die Klemmschrauben L und L'. Der Fuss der Statives St ist mit Blei ausgegossen, um ihm die hinreichende Schwere zu geben ¹⁾.

¹⁾ Die hier beschriebene Wippe wird von dem hiesigen Mechanikus Stollenreuther für 8 fl. geliefert.

Das eine Präparat befindet sich mit der Axe seines Muskelkörpers in einer Linie mit der Kette am Kupferbügel, und zwar verbindet beide der Glasbacken H, durch die Achillessehne des Muskels Ms gestossen. Der Muskelhalter It ist an dem Stativ Sv auf- und abschließbar befestigt. An dem Poldraht Fe ist ein kleiner Träger gl von Glas angebracht, um das Endstück des Nerven zu tragen. Alle diese Theile befinden sich unter einem Glassturz, unter dessen Schutz durch feuchtes Fliesspapier Muskel und Nerv vor dem Vertrocknen geschützt bleiben.

Das zweite Präparat P hat die gewöhnliche Aufstellung. Festgehalten durch das Stativ sv steht es senkrecht; sein Nerv hängt in dem feuchten Raum über den Poldrähten Fe'' und Fe''' herab und ist ebenfalls vor Wasserverlust durch die Glocke Gl geschützt. El stellt schematisch den Grove'schen Becher, Rh den grossen Flüssigkeitsrheostaten vor. Die Drahtanordnung erkennt man unmittelbar aus der Abbildung.

Zuerst wird bei dem Experiment der Muskel so hoch gestellt, dass bei mässigem Uebergewicht der Feder F der eine Fusspunkt des Bügels auf das Platin von o drückt. Sowie die Kette geschlossen wird, circulirt der Strom von El aus der Reihe nach über folgende Punkte weg: D'L, S, o, Dk, D'', Fe, Nv, Rh zurück zum Element. In dem Augenblick entsteht eine Zuckung, in deren Verlauf bald früher, bald später, je nachdem man die Entfernung des Bügelfusspunktes von o' mittelst der Schraube S' grösser oder kleiner gemacht hat, die Platinflächen bei o' in Contact gerathen. Gleich bei Beginn der Zuckung verlässt der andere Fusspunkt des Bügels den Kopf der Schraube o, unterbricht also den primären Kreis nach Ablauf der latenten Reizung. Sowie der metallische Contact bei o' hergestellt ist, geht der am Nerv des zuerst gereizten Präparates Ms entwickelte Polarisationsstrom auf folgendem Weg durch den Nerv des zweiten Präparates P: von Fe über D'', Dk, B, o', S', L', Fe'', Nv', Fe''' auf der punktirten Linie zu Fe am Nerv des Muskels Ms.

