(Aus dem physiologischen Institut zu Breslau.)

Versuche über den zeitlichen Verlauf des Muskelstroms im Tetanus.

Von

Dr. K. Schoenlein,

Privatdocent und Assistent am physiologischen Institut zu Würzburg.

Hierzu Tafel III u. IV und 5 Figuren.

Die im Nachfolgenden mitgetheilten Untersuchungen sind in der Absicht angestellt, über den Verlauf der negativen Schwankung im Tetanus detaillirtere Aufschlüsse zu gewinnen.

Aus einer in Du Bois Archiv von mir mitgetheilten Untersuchung¹⁾ über die Summation der negativen Schwankungen hat sich ergeben, dass in gleich langen Tetanis die tetanische negative Schwankung trotz wachsender Häufung der Reize sich ihrer absoluten Grösse nach nicht weiter verändert, sobald die Zahl der Reize in der Zeiteinheit ein gewisses, ziemlich niedriges Maass überschritten hat, ein Verhältniss was oft schon bei einer Geschwindigkeit von 40 Reizen in der Secunde eintritt.

Unter der Voraussetzung, dass die einzelnen Schwankungen im Tetanus gleich gross sind, ergiebt sich, dass dieselben mit abnehmendem Reiz-Intervall sich verkleinern müssen, und ferner, dass die erste Schwankung im Beginn des Tetanus grösser sein muss als alle übrigen, da Mangels eines vorangegangenen Reizes für sie die Bedingung fehlt, in Folge deren sich die übrigen Schwankungen verkleinern. Die Voraussetzung absoluter Gleichheit der Schwankungen ist jedoch ebenso wenig bewiesen, wie ihre Isoperiodicität mit der Reizfolge. Die Resultate der Untersuchung des Muskeltones durch einfache Auscultation sowohl, als auch die Beobachtung der Actionsströme mit dem Telephon schliessen die Möglichkeit eines periodischen Wechsels der Schwankungsgrösse nicht aus, wie vor allem die Beobachtung lehrt, dass bei Reizung mit dem akustischen Unterbrecher der Muskelton auch

1) Die Summation der negativen Schwankungen. Du Bois Archiv 1886, S. 251.

die tiefere Quinte des erregenden Tones sein kann. Da hier Reizzahl und Schwankungszahl im Verhältniss von 2 : 3 stehen, lässt sich der Befund nicht wohl aus dem regelmässigen Ausfall eines der erregenden Stromstösse erklären. Eine genaue Analyse des tetanischen Schwankungsvorganges kann vielmehr mit den bisher zu Gebote stehenden Hilfsmitteln nur dadurch erreicht werden, dass man die tetanische Schwankung mit dem Rheotom in gleicher Weise untersucht, wie dies bis jetzt für die Einzelzuckung geschehen ist. Die vollständige Durchführung dieser Aufgabe wird sich nun freilich am überlebenden Muskel nicht bewerkstelligen lassen, da denn kein Muskel die hierzu nöthige grosse Zahl von Zuckungen liefern kann. Beschränkt man sich indessen darauf, zu untersuchen, wie sich die Schwankungscurve bei zwei oder drei auf einanderfolgenden Reizen verhält, so lassen sich einige positive Resultate gewinnen, welche ich im Nachfolgenden mittheilen will.

U n t e r s u c h u n g s m e t h o d e.

In dem in Figur I beigezeichneten Schema bedeutet *R* das Rheotom, dessen Rad, durch einen seiner Durchmesser *D* vertreten, an seiner Peripherie einerseits den bekannten rotirenden Stift zur Erzeugung des Reizcontactes trägt, und den ich, um eine kurze Bezeichnung zu haben, den Contactstift nennen will. Ihm sitzt diametral gegenüber ein zweiter Stift, der die Zulassung des Muskelstroms zur Boussole in einer nachfolgenden zu schildernden Weise zu besorgen hat, und der deshalb Boussolstift heissen möge. Von den drei horizontal und radial zur Rheotomtaxe aufgestellten übrigens isolirten Contactdrähten *a, b, c*, über welche der Contactstift hinwegzugleiten hat, geht je eine metallische Verbindung zu den drei Vorreibern α, β, γ , und von diesen zur rechten Seite eines Du Bois'schen Schlüssels. Von der rechten wie von der linken Seite dieses Schlüssels führt je ein Draht zu je einer Klemme des Stromumschalters *U*, von der linken Seite des Schlüssels ausserdem ein zweiter Draht nach Durchsetzung der primären Spirale *P* zur Batterie des Reizkreises *E*. Der andere Pol der Batterie ist in der gewöhnlichen Weise durch die Axe des Instrumentes zum Contactstift geführt.

Den Contactdrähten, resp. ihrem Träger gegenüber, steht, unveränderlich fest auf der mit Gradeintheilung versehenen Grund-

Fig. I.

platte des Instrumentes, die später zu beschreibende Ableitungsvorrichtung RS für den Muskelstrom. Sie ist einerseits mit der Boussole G , andererseits mit einem Klemmenpaar des Umschalters U verbunden. Die Electrodenröhre des Muskels endlich führen ebenfalls in ein drittes Klemmenpaar des Umschalters U .

Sind die Riegel des Umschalters, welche mit der Ableitungsvorrichtung RS dauernd verbunden sind, in der Richtung mm eingestellt, so geht der Muskelstrom durch RS zur Boussole. Der Reizstrom kann, solange der Schlüssel S offen ist, überhaupt nicht geschlossen werden, bei Schluss desselben kann er, je nachdem α , β oder γ offen oder geschlossen ist, einen, zwei oder alle drei Reizcontacte durchsetzen. Ist der Umschalter U in der Lage ss

eingestellt, so hat der Reizstrom beim Ablauf der Reizcontacte zwei Wege frei, den einen durch die Contactbahn, den andern durch die Ableitungsvorrichtung, zu welcher der Riegel des Schlüssels *S* die Nebenschliessung bildet. Nach Oeffnung des Schlüssels *S* kann nur der Umweg durch die Boussolableitung vom Strom betreten werden, und man kann durch Verschiebung der Contacte längs der Peripherie der die Gradtheilung tragenden Scheibe die Zeit der Zuführung des Muskelstromes zur Boussole leicht in bekannter Weise ermitteln. Die Einzelheiten der Einrichtungen ergeben sich aus dem Folgenden. Es ist ersichtlich, dass das zur Construction der tetanischen Schwankungscurve nöthige Material gewonnen wird aus der Grösse der einzelnen Phasen der negativen Schwankung, wenn erstens bei gegebener wechselseitiger Entfernung der Contacte und der Boussolableitung die Contacte *a*, *b* und *c* jeder für sich, dann die Contacte *a* und *b* zusammen, und schliesslich die Contacte *a*, *b* und *c* gemeinschaftlich zur Muskelreizung benutzt werden, und zweitens, ohne dass in den gegenseitigen Abständen der Contacte etwas geändert wird, unter Aenderung ihrer Abstände von der Boussolableitung die eben genannten Reizungsreihen wiederholt werden. Für die Vergleichbarkeit der erhaltenen Ausschläge ist Vorbedingung, dass die Zeit während welcher der Muskelstrom zur Boussole abgeleitet wird, sich nicht wesentlich ändere. Die Controle der Ableitungszeit könnte geschehen, indem man zwischen je zwei Versuchen dieselbe, nach Ausführung der erforderlichen, in der Erläuterung der Versuchsanordnungen schon mitgetheilten Stromumschaltungen, unmittelbar misst, oder indem man die Ausschläge des Ruhestroms bei rotirendem Instrument selbst zum Controlobject macht. Dieselben werden, sobald die Ableitungszeit merklich sich ändert, ebenfalls wachsen oder abnehmen, und man wird, sobald die Scala im Fernrohr ihren Stand nicht verändert, annehmen können, dass die Ableitungszeit sich nicht verändert hat. Diese Bedingung wird von den bisher bekannten Ableitungsvorrichtungen in einer für unsere Versuchszwecke nur unzulänglichen Weise erfüllt.

Wer längere Zeit mit dem Bernstein'schen Quecksilbercontact gearbeitet hat, wird bald bemerkt haben, dass die Scala in einer den Versuch recht störenden Weise zu wandern beginnt, sobald derselbe eine Weile gedauert hat. Sie bewegt sich, in den einzelnen Lagen kürzere Zeit verharrend, ruckweis um eine mitt-

lere Gleichgewichtslage hin und her. Die Abweichungen von letzterer gehen nach beiden Seiten häufig bis zu 10 Procent des Ausschlagsmittels, hin und wieder auch noch weiter. Ich hielt dieselben zunächst für den Ausdruck plötzlicher Schwankungen des Muskelstromes, die durch irgendwelche, am Querschnitt vor sich gehende Erregungen hervorgerufen seien. Ersetzte man jedoch den Muskelstrom durch den Zweigstrom eines Daniel'schen Elementes, so blieb die Erscheinung unverändert, konnte also auf Intensitäts-Schwankungen des Muskelstromes nicht beruhen. Die das Rheotom treibende electromotorische Maschine konnte Ursache der Ablenkung ebenfalls nicht sein, da die Ablenkungen ausblieben, wenn bei laufendem Instrument der zur Boussolleitung gehörende Du Bois'sche Schlüssel geschlossen war. Es konnte die Ursache der Erscheinung somit nur im Contact liegen, und in der That schwand sie auch jedesmal, wenn das Quecksilber der Contactnäpfe, durch frisches, chemisch reines ersetzt wurde. Unreinigkeiten der Quecksilberoberfläche waren zur Zeit des Beginns der Störungen jedoch zumeist noch nicht zu bemerken.

Arbeitet man mit compensirtem Muskel oder Nervenstrom, so ist von derlei Unregelmässigkeiten nichts zu erkennen, da es, so lange der Muskel nicht gereizt wird, zu einer Ablenkung der Scala ja überhaupt nicht kommt. Da die bisherigen Rheotomversuche zumeist mit compensirtem Rubestrom angestellt wurden, liegt hierin vielleicht auch der Grund, warum eine ausdrückliche Berücksichtigung dieses Punktes in den früheren Untersuchungen unterblieben ist. Für die allgemeine Feststellung der Schwankungcurve und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schwankung ist er auch ein Fehler von verhältnissmässig geringer Bedeutung.

Man hat daher bei der Arbeit ohne Compensation am Verhalten des Ausschlags eine sehr gute Controlle der Contactzeit, und ich habe mich desshalb bei den hier angestellten Versuchen der Compensationsmethode nicht bedient.

Da die frische Füllung der Contactnäpfe immer mit etwas Umständlichkeit verbunden ist, und insbesondere auch jedesmal eine neue Bestimmung der Contactzeit benöthigt, habe ich mich bemüht, eine bequemere Methode der Stromzulassung ausfindig zu machen. Unter den bisher bekannten Methoden scheint mir die Bernstein'sche noch immer die beste zu sein. Der Hermann'sche Bürstencontact arbeitet keinesfalls regelmässiger, und die

Bürsten erleiden im Verlaufe mehrerer Versuche die sonderbarsten Verbiegungen, theils durch die Wirkung der Centrifugalkraft, theils wohl auch durch die fortwährend ihnen von den Kupferbänkchen während ihrer Thätigkeit ertheilten Stösse¹⁾. Bezüglich des dem Hermann'schen im Principe gleichenden Head'schen Contactes giebt Head²⁾ electromotorische Wirkungen desselben an, die eine vorsichtige Behandlung der Contactflächen nöthig machen.

Ich habe deshalb versucht, den Muskelstrom dauernd geschlossen zu halten, indem ich ihn von der Boussole durch eine am Rheotom befestigte Nebenschliessung abblendete, und die periodische Oeffnung derselben dem bereits genannten, am Rheotomrade selbst befestigten Boussolstift übertrug. Ich will den Apparat Rheotomschlüssel nennen. Seine Construction und Wirkungsweise ergibt sich aus den auf Taf. III beigelegten Zeichnungen Fig. 1—3.

An dem förmig gebogenen Messingstück *A*, siehe Fig. 1, welche den Apparat von der Seite darstellt, mittelst dessen der Rheotomschlüssel an die Theilscheibe des Rheotoms angeschraubt wird und welches an der oberen Seite der Scheibe, um einen festen Stand zu ermöglichen, derselben mit nur drei Punkten aufliegt, ist die Laufschiene *b* für den Schlitten *c* angebracht. Letzterer bildet den eigentlichen Träger des Schlüssels, und ist in seiner Bahn parallel der Rheotomaxe durch die Schraube *d* mit feiner Einstellung zu verschieben. Für die gute Function des Apparates ist sorgfältige Herstellung der Gleitflächen Hauptbedingung. Da die gewöhnliche Schiebung in dreieckigen Prismen mit Federklemmung nicht genügt, um seitliche Verschiebungen des Gleitstücks sicher zu verhindern, wurde die in der Mechanik auch sonst gebräuchliche Schwalbenschwanzführung mit Keilklemmung angewendet, welche seitliche Verschiebungen absolut ausschliesst. Der Schlitten selbst trägt auf der, der Rheotomaxe zugewendeten Seite einen Ebonitwürfel *E*. Die axiale Seite desselben bleibt frei, auf der rechten jedoch wie auf der linken Seite trägt er ein Schraubklemmenpaar *e* u. *f* (siehe Fig. 2 u. 3), welches die von der Boussole und von den unpolarisirbaren Electroden kommenden Drähte

1) Ich muss allerdings dazu bemerken, dass die Bürsten Producte meiner eigenen Hände waren. Vielleicht sind die von Hermanns Mechaniker bezogenen etwas widerstandsfähiger.

2) H. Head, Ueber die negativen und positiven Schwankungen des Nervenstromes. Pflüger's Archiv Bd. XXXX, S. 245.

aufzunehmen bestimmt ist. Das eine von ihnen (f) ist mit einem auf der oberen Fläche des Ebonitklotzes befestigtem Messingwürfel (f) metallisch verbunden, das andere (e) sitzt auf einer Messingplatte, deren axialer Rand bei h über den Ebonitklotz vorsteht, und daselbst eine nach aufwärts strebende Messingsäule (h) trägt. Diese ist in der Höhe der oberen Fläche des Messingwürfels horizontal und tangential zum Rheotomrade umgebogen, und trägt an ihrem Ende eine nach abwärts laufende, am unteren Ende mit einem Platinstift versehene Contactschraube (h). Die auf dem Messingwürfel verschraubte, an der Stelle ihrer Berührung mit der Contactschraube ebenfalls mit Platinblech versehene Blattfeder i verbindet endlich metallisch das rechte und linke Klemmschraubenpaar. Das ganze stellt somit einen Dubois'schen Schlüssel dar, welcher durch die Feder dauernd geschlossen ist, und nur geöffnet wird, wenn der am Rheotomrade isolirt befestigte Stift k^1) (Boussolstift) bei seinem Umlauf den über h , vorstehenden Rand der Feder nach abwärts bewegt.

Die Figuren 2 und 3 stellen den Schlüssel von oben und von der der Axe des Rheotoms zugewendeten Seite dar, bei Fig. 3 ist Schlittenbahn und Schlitten weggelassen. Die Bezeichnungen sind die gleichen wie bei Figur 1. Da der Gebrauch des Rheotomschlüssels grössere Reibungswiderstände einführt, als der Quecksilbercontact, und die Benutzung dreier Contacte ebenfalls gewisse Hindernisse für die gleichförmige Bewegung des Rheotomrades bietet, wurde dasselbe durch eine massive 2 mm starke Messingscheibe von 12 cm Durchmesser ersetzt und aus später zu erwähnenden Gründen die Axe des Rades ebenfalls verstärkt, dazu unter die Scheibe noch ein starker Schwungkranz gelegt²⁾. Die Controlle des gleichmässigen Umlaufs lieferte eine Stimmgabelschrift auf einer zu diesem Zweck auf der Axe dauernd befestigten, mit berusstem Papier bezogenen kleinen Messingtrommel von 52 mm Durchmesser und 18 mm Höhe. Ich lasse zunächst eine Copie der auf ihr gezeichneten Curven des Pfeil'schen Chronographen folgen, welcher zu diesem Zweck mit dem akustischen Stromunterbrecher in den-

1) Um letzteren in die richtige Lage zu Fig. I zu bringen, muss man ihn sich parallel zu sich selbst so verschoben denken, dass der Buchstabe k über dem Buchstaben h der Fig. I steht.

2) Scheibe nebst Schwungkranz wiegen etwa 1100 gr.

selben Stromkreis aufgenommen war. An derselben lassen sich Schwankungen der Geschwindigkeit von irgend welchem Belang nicht wahrnehmen. Die Umlaufszeit der Trommel betrug 0,2 Sekunden, ihr Umfang 164 mm, die Länge der einzelnen Schwingung rund 6,0 mm, ihre Dauer also $\frac{1}{135}$ Sekunden. Die Trägheit des Rades war noch für einen etwa 16—18maligen Umlauf desselben genügend, wenn der dasselbe treibende Motor durch Oeffnen des Stromkreises plötzlich ausser Thätigkeit gesetzt wurde, nachdem er vorher die volle Umlaufgeschwindigkeit erreicht hatte, und die Contacte nebst dem Rheotomschlüssel in der richtigen beim Versuch nothwendigen Einstellung sich befanden. Die Ableitungszeit betrug dann 0,002—0,003 Sekunden, je nach der höheren oder tieferen Einstellung des Schlüssels.

Wiederholt man mit dem Rheotomschlüssel den auf Seite 138 angegebenen Versuch, indem man statt des Muskelstroms den Strom eines Daniel'schen Elementes, jedoch unter Einschaltung des Schlüssels zur Boussole ableitet, so erhält man bei dem für die Darstellung der negativen Schwankung nöthigen Empfindlichkeitsgrade derselben zunächst schon Ablenkungen bei stillstehendem Rheotom. Die Nebenschliessung hat für stärkere Ströme also keineswegs einen verschwindenden Widerstand. Sie reicht jedoch bei Strömen von der Ordnung des Muskelstromes vollständig hin, um keine Spur einer Ablenkung an der Boussole aufkommen zu lassen, so lange sie geschlossen ist. Bei rotirendem Instrument musste dann, wenn das Daniel'sche Element als Stromquelle benutzt wurde, die Empfindlichkeit der Boussole selbstverständlich bedeutend herabgesetzt werden, indem nur der vierte Theil des Boussolgewindes, bei möglichst weitem Abstand von der Dämpfhülse benutzt wurde. Ich habe die Ablenkungsgrösse bei laufendem Rheotom nicht aufgeschrieben. Sie betrug jedoch mehr als 100 Scalentheile, und änderte sich

Fig. II.

Contactstrecke.

nach Verlauf von zwei Stunden langsam mit der selbstverständlich eingetretenen Abnahme der electromotorischen Kraft des Elementes, jede irgendwie plötzliche Aenderung des Ausschlages war jedoch vollständig ausgeschlossen. Die Scala blieb oft mehrere Minuten hintereinander an derselben Stelle.

Zur Bestimmung der Ableitungsdauer werden die im Schema schon erwähnten Umschaltungen¹⁾ in der Stromleitung vorgenommen und die Stellungen des Reizcontactträgers aufgesucht, bei welchen die ersten und letzten Ablenkungen der Scala auftreten. Ist der Reizcontact so eingestellt, dass die Berührung zwischen Contactstift und dem auf dem Contactträger sich befindenden Theil des Contactes nur leicht ist, so bemerkt man zunächst, dass in den kritischen Stellungen des Contactträgers immer nur vereinzelte Ablenkungen auftreten, indem die Scala stossweise aus ihrer Ruhelage herausgeht, und nach kurzem Verweilen in der neuen Lage auf längere Zeit in die Ruhelage zurückkehrt. Auch bei einer Einstellung des Contactträgers in dem zwischen den kritischen Stellungen liegenden Gebiete bemerkt man theils häufige Wiederkehr der Scala in ihre Ruhelage, theils Ablenkungen von sehr wechselnder Grösse. Die Erscheinung ist bei Benutzung des leichten, ursprünglich zum Instrument gehörenden Rades noch viel ausgeprägter. Sie rührt offenbar von minimalen Schwingungen her, zu denen das Rad durch die ihm vom Contact und vom Rheotomschlüssel erteilten Stösse angeregt wird. Verstärkt man den Contact, so bleibt die Scala dauernd abgelenkt, und die Unterschiede zwischen den einzelnen Ablenkungen werden kleiner, ohne jedoch vollständig zu verschwinden. Es ist klar, dass die Amplitude der Schwingungen um so kleiner werden muss, je nachgiebiger der auf dem Contactträger sich befindende Contacttheil, und je starrer das Rheotomrad ist. Möglichste Verkleinerung derselben war der zweite Grund, welcher zur Abänderung des Rheotomrades in der beschriebenen Weise Veranlassung gab.

Hat man den Contact stärker gemacht, während der Contactträger in der kritischen Stellung stehen blieb, so tritt jetzt das Umgekehrte mit den Ablenkungen ein. Die Ablenkung wird dauernd, und die Scala geht nur in ganz einzelnen Momenten zur Ruhelage zurück. Nach einer ungefähren Zählung bleibt etwa

1) Der Umschalter liegt nach SS, der Schlüssel S ist offen.

der zwanzigste Contact ohne Erfolg, oft auch ist die Rückkehr zur Ruhelage seltener. Eine Verschiebung des Contactträgers um etwa den zwanzigsten Theil eines Rheotomgrades reicht dann hin, um auch dieses Ausbleiben zu beseitigen. Die Verschiebung jedoch, deren es bedarf um denselben aus der Stellung ohne Ablenkung in die Stellung zu bringen, wo fast jeder Contact eine Ablenkung hervorbringt, ist noch viel geringer. Sie bleibt jedenfalls hinter dem dritten Theil dieser Grösse weit zurück.

Man kann sich nun die Bestimmung der Boussolschlusszeit noch weit bequemer machen, wenn man anstatt der Boussolablenkungen das Telephon zum Aufsuchen der kritischen Stellungen des Contactträgers benutzt. Man braucht dazu nur das Telephon an Stelle der Boussole mit dem Rheotomschlüssel zu verbinden.

Ich hatte schon erwähnt, dass bei Benutzung eines Daniel-schen Elementes der Widerstand der Nebenschliessung im Rheotomschlüssel nicht gering genug ist, um jede Ablenkung der Scala bei dauerndem Stromschluss zu verhindern. Dieselbe bleibt bei den kurzen Stromstössen, welche das Galvanometer durchfahren, sobald demselben die Ströme durch den Reizcontact zugeführt werden, aus, so lange der Stromschluss nicht gerade zu der Zeit geschieht, wo die Nebenschliessung offen ist. Im Telephon jedoch nimmt man diesfalls immer ein schwaches Ticken wahr. Dasselbe verstärkt sich plötzlich, wenn diejenige Stellung des Contactträgers aufgesucht wird, bei welcher Stromschluss und Oeffnung des Rheotomschlüssels zusammenfallen. Ehe diese Stellung erreicht ist und in derselben wechselt die Schallstärke, wenn der Contact nur auf eine leise Berührung der Contactflächen eingestellt ist, zwischen bestimmten Grenzen hin und her. Macht man den Contact kräftiger, so wird die Schallstärke constant, und bleibt auch in der kritischen Schieberstellung sich gleich. Sobald dieselbe überschritten ist, wandelt sich das Ticken in einen scharfen Knall um, der auch, natürlich bedeutend leiser, zu hören ist, wenn man das Telephon vom Ohr entfernt und neben sich auf den Tisch stellt. Ich schätze die Strecke, auf welcher sich diese Schallumwandlung vollzieht, auf etwa den vierzigsten Theil eines Rheotomgrades. Sie wurde bestimmt bei der in den meisten Versuchen innegehaltenen Umlaufszeit von 0,2 Secunden, und würde sich demnach vollziehen in etwa $\frac{1}{20000}$ Secunde. Das Ende der Boussolableitung markirt sich in gleicher Weise wie der Anfang.

Anfang und Ende der Ableitungszeit sind also sehr genau zu bestimmen. Die dieselbe betreffenden Constanten des Instruments ändern sich auch nach vielstündigem Gebrauch nicht in merklicher Weise. Sie waren nach einer Zeit von zwanzig Stunden, während welcher das Instrument im Verlauf dreier Tage benutzt worden war, noch unverändert.

Ich bin von befreundeter Seite befragt worden, ob ein Klirren der Feder ausgeschlossen sei, wenn der Boussolstift dieselbe verlassen hat, und der Contact wieder sich schliesst. Dasselbe könnte nachträgliche Oeffnungen des Schlüssels bewirken, welche denselben zu andern Versuchen eventuell untauglich machen würden. Ich habe hierüber folgendes ermittelt.

Man löse die Verbindung, welche der Contactstift des Reizcontactes mit dem die Rheotomaxe umschliessenden Quecksilberring hat, und verbinde statt dessen Contactstift und Boussolstift miteinander. Man führe sodann einen Strom durch den feststehenden Theil des Reizcontactes, die ebengenannte Verbindung von Boussolstift und Contactstift, die Feder des Rheotomschlüssels, und nehme endlich in diesen Kreis das Telephon auf. Dieser Kreis wird nur geschlossen werden können innerhalb der Breite der Rheotomtheilung, welche der Contactstift durchläuft, während der Boussolstift auf der Schlüsselfeder schleift. Man führe sodann bei rotirendem Rheotom den Reizcontact langsam, unter Benutzung der an ihm befestigten Micrometerschraube, durch diesen Theil der Rheotomtheilung hindurch, und notire sich die Stellungen, in welcher das den Stromschluss signalisirende knackende Geräusch im Telephon zum ersten und letzten Male auftritt. Dasselbe beginnt sehr leise, wird bei nur geringer Verschiebung des Reizcontactes maximal (etwa bei 0,025 eines Grades der Theilung) und verschwindet später in gleicher Weise. In den Zwischenstellungen des Contactträgers ist es in unveränderter Stärke *stets* vorhanden, ohne je bei einer Umdrehung auszusetzen.

Bis hierher war der im Rheotomschlüssel befestigte Theil der Stromleitung in die Klemmschraube eingeschraubt, welche mit der Contactfeder in Verbindung war. Man löse nun diese Verbindung und stelle die Stromleitung wieder her, indem man den Draht jetzt in eine der Klemmen einlegt, welche mit der Contactschraube des Schlüssels in Verbindung stehen. Jetzt kann die Leitung nur bei denjenigen beiden gegenseitigen Stellungen

von Rad und Contactträger geschlossen werden, bei welchem 1) der Boussolstift die Feder bereits berührt und der Contact zwischen Feder und Contactschraube noch nicht gelöst ist, oder 2) derselbe nachdem er eine zeitlang offen war, wieder hergestellt wird, während zugleich der Boussolstift noch auf der Feder gleitet, ausserdem aber Contactstift und der auf dem Träger des Reizcontacts stehende Contacttheil des letzteren (*P* der Fig. 4 auf Taf. III) miteinander in Berührung sind. Der zweite der beiden Fälle kann nicht eintreten, sobald die Feder nach dem Abgleiten des Boussolstiftes in freier Schwingung noch ein Stück Weg zurückzulegen hat, ehe sie den Schlüsselcontact wieder schliesst. Man führe nun bei dieser Versuchsanordnung und rotirendem Rheotom ebenfalls den Reizcontactträger mittelst der Schraube durch die kritischen Contactbreiten hindurch, und notire sich die Stellungen desselben, bei welchen das bekannte, diesmal bedeutend schwächere Geräusch im Telephon Anfang und Ende der Stromschliessungen angiebt. Drittens suche man sich, nachdem die gewöhnlichen Verbindungen der Drähte wieder hergestellt sind, in der gebräuchlichen früher beschriebenen Weise Anfang und Ende der Boussolableitung auf. Es ergibt sich:

Boussolableitung, in der gewöhnlichen Weise bestimmt 77,2°—76,2°.

Contact bei Ableitung über Contactstift, Boussolstift,

Schlüsselfeder 76,175—77,225

„ „ „ „ Contactstift, Boussolstift,

Schlüsselfeder und zugehöriger Contactschraube 76,175—76,2 u. 77,2—77,25.

Zwischen 76,2—77,2 kein Contact.

Boussolableitung, bestimmt wie oben. 77,2—76,2.

Aus diesen Zahlen, und dem sonst über diesen Versuch Mitgetheilten ergibt sich folgendes.

1) Boussolstift und Schlüsselfeder bleiben während der Streifung stets mit einander in Berührung.

2) Zur Lösung und Neubildung des Contactes bedarf es einer merkbaren aber sehr kleinen Zeit.

3) Eine freie Schwingung der Feder findet nicht statt, wenn sich der Boussolstift von ihr löst. Sie liegt vielmehr in dem Augenblick der Lösung bereits wieder an der Contactschraube an. Nachschwingungen und nachträgliche Lösungen des Contactes sind somit unwahrscheinlich.

4) Ist der Zeitmoment, in welchem, bei der gewöhnlichen Bestimmung der Boussolableitungszeit mittelst des Telephons, die

Schallstärke plötzlich zunimmt, identisch mit dem Augenblick der Oeffnung des Rheotomschlüssels.

Der Gebrauch des Rheotomschlüssels erleichtert somit die Benutzung des Rheotoms in beträchtlichem Maasse. Die Bestimmung der Boussolableitungszeit ist genau, ebenso diejenige der zwischen Reiz und Ableitung liegenden Zeit, durch die Unveränderlichkeit der Ableitungszeit wird das lästige Wandern der Scala bei Ableitung des Ruhestromes vermieden, die Erneuerung des Quecksilbers in den Contactnäpfen fällt weg, die Controlle des Nullpuncts und der Ableitungszeit fällt ebenfalls weg. Wo sie erwünscht ist, gestaltet sie sich unter Benutzung des Telephons ebenfalls einfacher.

Bei der Construction der Contacte musste auf die bei den ersten Versuchen sofort gemachte Erfahrung Rücksicht genommen werden, dass der Contactstift den zweiten und dritten Contact häufig übersprang. Ursache hierfür waren Schwingungen des Rheotomrades, und dieselben waren auch mit der Grund, wesshalb das Rad durch eine massive Scheibe ersetzt wurde. Da diesfalls der an der Scheibe befestigte Contactstift der unnachgiebige Theil des Contactes wird, musste der auf dem Contactträger befindliche Contacttheil zum Ausweichen eingerichtet werden. Zugleich mussten alle drei Contacte auf demselben Träger untergebracht werden, damit sie gleichzeitig, ohne Aenderung ihres gegenseitigen Abstandes längs der Peripherie des Rheotomrades verschoben werden konnten. Ihre Construction veranschaulicht Fig. 4 der Tafel III, welche sie, von der Rheotomaxe aus gesehen, zeigt.

Auf einer horizontalen, tangential zum Rheotomrad angeordneten Laufschiene *A* laufen drei Läufer, *L*, in welche bei *B* in einer horizontalen, senkrecht zu *A* gehenden Axe eine kleine Messingplatte eingelenkt ist. Eine Stellschraube, *C*, vermag dieselbe fein vertical einzustellen, während sie zugleich durch eine Gegenfeder, *D*, fest gegen den Läufer angedrückt wird. Auf dieser Platte, *E*, ist, durch eine (schraffirt gezeichnete) Hartgummi-scheibe isolirt, eine Blattfeder *G* aus Stahl von 8 Millimeter Breite in dem Messingklötzchen *H* befestigt, welche auf ihrem freien, nach oben umgebogenen Rand horizontal und senkrecht zur Längsrichtung des Läufers *A* einen ein Millimeter starken Platindrath *P* angelöthet trägt. Der Contactstift trifft bei seinem Umlauf diesen Draht, und stellt somit, da von dem Klötzchen *H* eine Leitung nach dem Schlüssel α , resp. β , γ des auf Seite 136

gezeichneten Schemas führt, den Schluss des Reizkreises her. Nachschwingungen der Feder werden theils durch ein zwischen ihr und der Hartgummiplatte eingelegtes, von einem Gummischlauch abgeschnittenes Stück Gummi, theils durch die auf die seitlichen Ränder der Feder von oben drückenden Köpfe der Dämpfschrauben *K* verhindert. Damit der zweite und dritte Contact genügend einander genähert werden können, steht die Feder des dritten eine Strecke weit frei über ihren Läufer hinaus. Die Laufschiene *A* ist endlich an einem in der Zeichnung weggelassenen in senkrechter Richtung fein verstellbaren Schlitten befestigt, und dieser an Stelle des am Rheotom sonst befindlichen Reizschiebers auf dem denselben tragenden Arm angeschraubt. Zwei von letzterem weit nach rechts und links ausgreifende Arme *N* verhindern endlich seitliche Schwankungen des Contactträgers. Die Federn weichen dem Contactstift leicht aus, schwingen sehr schnell ab¹⁾, und bereiten dem Umlauf des Rades kein merkliches Hinderniss.

Wenn die Wirkungen zweier sich schnell folgender Inductionsschläge in Nerv oder Muskel sich nicht summiren, wird man zunächst zu fragen haben, ob beide Schläge gleich stark gewesen sind. Ich habe es daher für zweckmässig gehalten, erst den Verlauf der Inductionsströme zu studiren, wenn alle drei Contacte hintereinander in engen Intervallen fungirten. Zu diesem Zweck schalte ich den Rheotomschlüssel als Nebenschliessung zur Boussole ein, nachdem dieselbe mit den Polen der secundären Spirale verbunden sind. Hierzu brauchen nur die von den, an den Muskel angelegten, unpolarisirbaren Electroden kommenden Drähte mit den Drähten der secundären Spirale vertauscht zu werden. Im primären Kreise ist alles zugerichtet wie zum eigentlichen Versuche am Muskel selbst. Der primäre Kreis wird von sechs zur Kette verbundenen Daniell'schen Elementen betrieben, aus der primären Spirale sind die Eisenkerne entfernt. Ihre Enden sind durch einen inductionsfrei gewundenen Kupferdraht von absichtlich nicht zu geringem Widerstand miteinander verbunden. Aus

1) Herr Mechanikus *Rothe* in Prag liefert die hier beschriebenen Apparate, genau nach den von mir selbst gefertigten Originalen gearbeitet, für 58 Mark, Rheotomschlüssel und Schwungrad allein für 30 Mark, die Contacteinrichtung ebenfalls für 30 Mark. Zur Anbringung der letzteren muss das Rheotom eingesendet werden, Schlüssel und Schwungrad sind ohne weiteres an dem von *Zimmermann* in Heidelberg gelieferten *Bernstein'schen* Rheotom anzubringen.

dem Rheotomschlüssel ist jedoch die zur Ableitung der negativen Schwankung benutzte Feder entfernt, und durch eine andere mit schmaler Spitze ersetzt worden, welche der Boussolstift in einer Ausdehnung von höchstens einem halben Millimeter bestreicht. Die Ableitungszeit beträgt 0,0003 Secunden, im Uebrigen ist der Contact in der schon angegebenen Weise auf Nachschwingungen untersucht und von solchen frei befunden worden. Während alle drei Contacts functioniren, wird der Reizcontactträger längs der Peripherie des Rheotomrades verschoben und es ergeben sich folgende Ausschläge.

Intervalle zwischen den Contacts 0,003 Secunden.

Stellung der Contactträger	Boussolausschlag			
79.8	523	523	0	
„ 7	523	523	0	
„ 6	520	300	—200	Die Scala ist sehr unruhig. Plötzliche Sprünge von 50 Scalentheilen hin u. her. Die Zahlen geben die kleinste Ablenkung.
„ 5	520	480	—40	
„ 4	520	525	+5	
„ 3	520	545	+25	Stetige Ablenkung.
„ 2	521	544	+23	„ „
„ 1	523	545	+22	„ „
„ 0	523	540	+17	„ „
78.9	523	540	+17	„ „
„ 8	522	540	+18	„ „
„ 7	523	538	+15	„ „
„ 6	522	535	+13	„ „
„ 5	522	535	+13	Die Scala wird unruhig.
„ 4	520	280	—240	Die Unruhe wie vorhin, die Minimal- ablenkungen abgelesen.
„ 3	520	470	—50	
„ 2	520	528	+8	Stetige Ablenkung.
„ 1	520	560	+40	„ „
„ 0	520	570	+50	„ „
77.9	520	570	+50	„ „
„ 8	520	575	+55	„ „
„ 7	520	555	+35	„ „
„ 6	520	545	+25	„ „
„ 5	520	545	+25	„ „
„ 4	520	540	+20	„ „
„ 3	520	540	+20	„ „
„ 2	520	530	+10	Beginnende Unruhe.
„ 1	520	260	—260	Unruhe wie oben, Minimalablenkungen abgelesen.
„ 0	520	330	—190	
76.9	520	555	+35	Langsame stetige Ablenkung.

Telephonische Maxima der Inductionsströme finden sich bei 77,05—77,2°, 78,35—78,45°, 79,55—79,675°. Die Stellen des Beginns und des Endes der Boussolableitung, mit dem constanten Strome bestimmt, fallen mit denen der telephonischen Maxima der Inductionsströme zusammen. Die Umlaufsdauer beträgt genau 0,25 Secunden, der Zeitwerth eines Grades der Eintheilung also 0,0025 Secunden. Innerhalb 0,2 Grad ist die maximale Erhebung der Inductionsschläge gelegen. Sie dauert also $0,0005 = \frac{1}{2000}$ Secunde. Die Stärke der Schläge nimmt bei den beiden späteren Contacten zu, so dass man wird annehmen dürfen, dass etwaige Unwirksamkeit derselben in der Abnahme ihrer Intensität nicht begründet sei. Die beifolgende Curve stellt den Verlauf der Ströme dar. Ein Millimeter Ordinatenhöhe bedeutet zehn Scalentheile des Ausschlags. Kleinere Bruchtheile der Ordinaten als 0,5 Millimeter wurden nicht berücksichtigt. Die Ordinaten sind über die Schieberstellungen als Abcisse aufgetragen.

Fig. III.

Zum Versuch selbst habe ich mich leider des Gastrocnemius bedienen müssen. Wenn man die Wirkung der Doppel- oder mehrfachen Reizung auch nur an einer einzigen Phase der negativen Schwankung bestimmen will, kann man nicht unter einer viermaligen Wiederholung der Ablesungen wegkommen. Drei derselben sind mindestens nöthig, um zu wissen, ob man sich im auf- oder absteigenden Theil der Schwankungcurve befindet, und um zugleich die Ablenkung kennen zu lernen, welche der zweite Reiz, allein angewendet, für sich hervorrufen würde. Die vierte Ablesung erst würde unter Anwendung der Doppelreizung vor-

genommen werden können. Eine jede Ablesung aber erforderte, bei nur mässiger Empfindlichkeit der Boussole, zum mindesten zwanzig einzelne Zuckungen. Die den vier Ablesungen entsprechenden achtzig Zuckungen hat mir jedoch kein Sartorius mit künstlichem (thermischen oder Aetzungs-) Querschnitt ausgehalten, ohne die deutlichsten Kennzeichen der Ermüdung zu geben. Letztere aber ist im Stande, in Bezug auf die Wirkung der Doppelreize das am nicht ermüdeten Muskel erhaltene Resultat geradezu umzukehren. Ein Präparat von Semitendinosus und gracilis, wie ich es seinerzeit nach Ficks Angaben bei andern Versuchen benutzt habe, hält zwar etwas länger, aber doch nicht in genügendem Grade aus. Ich habe mich deshalb des genannten Muskels, wenn auch nur ungern bedienen müssen.

Gereizt wurde vom Nerven aus. Auf dem Muskel selbst wurden, nachdem die Mitte des Achillessehnen spiegels kräftig mit 5%iger Carbolsäure angeätzt worden war, Zuleitungsfäden aus Baumwolldocht, mit 0,6%iger Kochsalzlösung getränkt, aufgenäht. Wenn man feine Nadeln und feine Seidenfäden benutzt, können die vier hierzu benöthigten in der Faserrichtung laufenden (für jede Electrode zwei) Stiche sehr wohl ausgeführt werden, ohne dass auch nur, falls man die Eintrittsstelle der Nerven meidet, eine einzige Faser zuckt. Die aus dem Muskel hervorragenden Fadenden werden über den Baumwollfäden zusammengeknüpft und halten dieselben sicherer als jede andere Art der Befestigung in ihrer Lage fest. Das freie Ende der Dochtfäden wird in Kochsalzthon eingeknetet und letzterer zum Verschluss der die Zinksulfatlösung der unpolarisirbaren Electroden enthaltenden Glasröhren verwendet. Die Sehne des Muskels ist durch einen Glashaken mit dem Schreibhebel verbunden, der Femur wird, durch Gummischlauch isolirt, in seinen Halter geklemmt, Reizelectroden und unpolarisirbare Electroden sind sorgfältig isolirt, über das ganze wird eine mit feuchtem Fliespapier austapezirte Glasglocke als feuchte Kammer gestülpt.

Der Motor, eine electrische Rotationsmaschine älterer Construction, ist durch Schnurlauf mit einem Centrifugalpendel verbunden, dessen Schwunggewicht, nach einer von Helmholtz angegebenen Methode beim Ueberschreiten einer gewissen Umlaufgeschwindigkeit einen Contact aufhebt, durch welchen die zum Motor führende Leitung unterbrochen wird. Die Berührung des

Boussolstifts und der Feder des Rheotomschlüssels, sowie der Anschlag des Contactstiftes an die Reizcontacte giebt bei jedem Umlauf ein gut wahrnehmbares Ticken. Nach letzterem wurde die Zahl der Umläufe in der Minute gezählt, und daraus die Umlaufgeschwindigkeit für die Secunde berechnet.

Vor Beginn des Versuches wird das Reizintervall bestimmt, in dem ich für jeden einzelnen Contact nach dem oben geschilderten Verfahren die Stellungen aufsuche, welche mit Beginn und Ende der Boussolableitung zusammenfallen. Da die Contacte auf demselben, gemeinschaftlichen Träger stehen, muss sich für jeden Contact eine andere Stellung für das Zusammenfallen des Contactschlusses mit Anfang und Ende der Boussolableitung ergeben, und die Verschiebung des Contactträgers giebt das Reizintervall unmittelbar in Graden der Rheotomeintheilung an.

Versuchsergebnisse.

Zum Verständniss des Folgenden betrachte man nochmals das Versuchsschema, Seite 136. Der Umschalter *U* ist in der Richtung *m m* eingestellt, der Rheotomschlüssel dient also als Nebenschliessung zum Muskelstrom. Der Schlüssel *S* ist geschlossen. Das Rheotom rotirt in der Richtung des Pfeiles. Jetzt werden die Vorreiber α und γ geöffnet, so dass der Strom des Reizkreises nur durch den Contact *b* geschlossen werden kann, und diejenige Stellung des Contactträgers aufgesucht, bei welcher nach Reizung des Muskels durch Oeffnung des als Nebenschliessung zur secundären Spirale eingeschalteten Schlüssels *S'* die ersten Spuren der negativen Schwankung auftreten. Nach Notirung des Ausschlages wird der Vorreiber β geöffnet, der Vorreiber α geschlossen, und die Reizung wiederholt. Die der Reizung vom Contact *a* aus entsprechende Schwankung ist nun dem Reizintervall entsprechend schon mehr oder weniger stark entwickelt. Der Ausschlag wird ebenfalls notirt, und sodann, unter gleichzeitiger Schliessung von α und β eine Doppelreizung vorgenommen. Nach Notirung des Ausschlags wird der ganze Versuchsturnus unter Verschiebung des Contactträgers um eine beliebige Strecke gegen die Richtung des Radumlaufs wiederholt. Die Betrachtung der an der rotirenden Trommel eines Balzar'schen Kymographions verzeichneten Zuckungen giebt nach jeder Ablesung Aufschluss darüber, ob die Contacte gut functionirt haben. Etwaige Fehler in ihrer Einstellung, am

Ausbleiben einzelner Zuckungen kenntlich, wurden, wenn nöthig, corrigirt, zugleich aber auch die dann als fehlerhaft betrachtete Ablesung erst wiederholt, bevor der neue Turnus begonnen wird. Ich werde im Folgenden die einzelnen Reizungen, resp. die zu ihnen gehörigen Ausschläge mit a -, b -, c -Reizungen, a -, b -, c -Ausschlag, die Doppel- und dreifachen Reizungen mit $a+b$, $a+b+c$ -Reizung, resp. $a+b$ -Ausschlag bezeichnen. Die Versuchsergebnisse wechseln nach dem Reizintervall und gestalten sich im Allgemeinen wie folgt. Vorbemerkt sei noch, dass sich aus den Versuchsergebnissen schliessen liess, dass jenseits eines engeren Reizintervalles als $\frac{1}{500}$ Secunde der zweite Reiz seine Wirksamkeit bald vollständig einbüssen würde. Ich habe daher kleinere Intervalle im Versuche nicht benutzt.

Hat man, bei einem Reizabstand von $\frac{1}{500}$ Secunde dem Contactträger die Stellung gegeben, in welcher die ersten Bruchtheile der, der b -Reizung entsprechenden Schwankung zur Boussole abgeleitet werden, so ist die a -Schwankung schon beträchtlich entwickelt. Der Ausschlag bei Doppelreizung ist dann grösser als der Ausschlag der a -Reizung allein, bleibt jedoch, wie überhaupt bei allen Doppelreizungen am unermüdeten Präparat, hinter der Summe der a - und b -Ausschläge zurück. Verschiebt man jetzt den Reizcontact gegen die Richtung des Umlaufs um einen, etwa $\frac{1}{1000}$ Secunde entsprechenden Winkelwerth, so ist damit zumeist schon die Einstellung erreicht, wo die Boussolableitung geschieht, wenn die a -Schwankung ihre grösste Höhe erreicht hat. Zugleich ist auch die b -Schwankung merklich gewachsen, etwa bis zur Hälfte, oder $\frac{2}{3}$ des Schwankungsmaximums überhaupt. Der $a+b$ -Ausschlag ist dementsprechend auch weiter gewachsen, und der absolute Betrag, mit welchem er über die Grösse der a -Schwankung hinausgeht, wird oft schon recht auffällig. In der dritten Schieberstellung fällt jetzt der a -Ausschlag, um anfangs schneller, dann langsamer abzunehmen, während die b -Schwankung zuerst noch wächst. Es findet sich dementsprechend unter den nächsten Contactträgerstellungen eine, zumeist die dritte, bei welcher der zwischen der a - und b -Schwankung bestehende Unterschied am kleinsten ist. Bei dieser Einstellung hat die $a+b$ -Schwankung ihr Maximum bereits überschritten und beginnt langsamer als die a -Schwankung zu fallen. Sie bleibt zunächst noch grösser, als die b -Schwankung. Zu der Zeit jedoch, zu welcher die b -Schwan-

kung maximal geworden ist, fällt die $a+b$ -Schwankung stets merklich kleiner aus, als jene. Am Ende der b -Schwankung werden schliesslich beide Schwankungen wieder nahezu gleich gross, wenn nicht die später noch zu besprechenden Aenderungen im Erfolg der Reizung eintreten, welche die Curve der $a+b$ -Schwankung weit über die der b -Schwankung hinaus in die Höhe treiben. Als Beleg für die eben geschilderten Verhältnisse mögen von den am Ende dieser Mittheilung beigefügten Versuchen die Versuche No. 75, 76, 78, 81, 82, 84, 87, 88 dienen.

Wenn der Betrag der $a+b$ -Schwankung zu der Zeit, wo die b -Schwankung im Zustand ihrer höchsten Entwicklung sich befindet, bereits unter den Betrag der b -Schwankung herabgesunken ist, so wird man zunächst versucht sein, den Grund hierfür in der Ermüdung des Muskels zu suchen. Ihr Einfluss wird zu ermitteln sein, indem man die $a+b$ -Schwankung zwischen zwei b -Schwankungen einschaltet. — Ich habe, um mir den Verlauf der einzelnen Versuchsreihe nicht zu stören, von dieser Controlle nur selten Gebrauch gemacht. Wenn der Abstand der Contacte bekannt ist, hat man es vollkommen in der Hand, bei der nach einem Ablesungsturnus vorgenommenen Verschiebung des Contactträgers eine seiner Stellungen so zu wählen, dass der Contact b in der vormaligen Stellung des Contactes a sich befindet. Die Ausschläge müssen dann annähernd gleich sein. Absolute Gleichheit derselben darf man indessen nicht verlangen, da die Ermüdung ziemlich bald modificirend eingreift. Um mich jedoch der Richtigkeit der Beobachtung zu versichern, habe ich in einer Reihe von Versuchen mich darauf beschränkt, zwischen einfacher und Doppelreizung bei einer einzigen passenden Einstellung des Reizcontactes bis zur Ermüdung des Muskels abzuwechseln. Die $a+b$ -Schwankung fällt auch hier kleiner aus, als die b -Schwankung. Ein Beispiel hierfür bietet Versuch 45. Im Uebrigen wird man Gelegenheit haben, bei der dreifachen Reizung dem genannten Verhältniss bei der $b+c$ -Reizung ebenfalls zu begegnen, und zwar in Versuchen am blutdurchströmten Muskel, wo die Ermüdung, wenn zwar nicht aufgehoben, so doch stark hinausgezogen werden konnte.

Für das Folgende, sowie für die bequemere Uebersicht der bis jetzt gewonnenen Resultate wird es gut sein, sich daran zu erinnern, dass man dieselben auch graphisch darstellen kann, wenn man die erhaltenen Ausschläge als Ordinaten über der Zeit als

Abscisse aufträgt. Da die Umlaufgeschwindigkeit des Rheotoms in den bisher citirten und den noch zu citirenden Versuchen im Wesentlichen dieselbe ist, und die Grade der Rheotomtheilung, um welche der Reizcontact von einem Ablesungsturnus bis zum andern verschoben wird, dementsprechend auch nahezu denselben Zeitwerth besitzen, habe ich es für bequemer gehalten, in den auf Tafel III u. IV beigegebenen Schwankungscurven unter Vernachlässigung des etwa vorhandenen kleinen Zeitfehlers die Ausschläge als Ordinaten auf die Schieberstellungen als Abscisse aufzutragen. Ein Scalenthail Ausschlag entspricht in den Curven 0,8 mm Ordinatenhöhe, ein Rheotomgrad einer Abscissenlänge von 8 mm. Zu den Curven ist ausserdem noch folgendes zu bemerken. Für den Zweck dieser Versuche ist offenbar der bis zum Beginne der *b*-Schwankung abgelaufene Theil der *a*-Schwankung von minderm Interesse, dagegen ist es jedoch von Wichtigkeit, dass während der Messung der von Beginn der *b*-Schwankung an erfolgenden Vorgänge sich die Leistungsfähigkeit des Muskels so wenig wie möglich ändert. Hierfür aber ist es von gewissem Vortheil, sich die zwei oder drei behufs directer Bestimmung des ersten Theiles der *a*-Schwankung nothwendigen Ablesungen zu sparen. Ich habe dieselben desswegen auch unterlassen, zumal da man sich aus dem Verlauf der *b*-Schwankung den ersten Theil der *a*-Schwankung ganz gut reconstruiren kann, sobald man, wie dies hier immer der Fall ist, das Intervall der beiden Reize kennt. Man hat dann einfach den entsprechenden Theil der *b*-Schwankungscurve um das gegebene Intervall in der Richtung nach *a* zu verschieben, um auch die Curve der *a*-Schwankung vollständig zu erhalten.

Auf diese Weise sind die zu den bisher mitgetheilten und demnächst noch mitzutheilenden Versuchsbeispielen gehörigen Schwankungscurven construiert. Was bei ihnen am meisten auffällt, ist der ausserordentlich geringe Flächenzuwachs, welchen die *a*-Schwankung bei kurzem Intervall durch das Hinzukommen eines zweiten Reizes erhält, und der bei 0,002 Sec. Intervall nur selten mehr als etwa $\frac{1}{10}$ der Fläche der *a*-, resp. *b*-Schwankung beträgt.

Von besonderem Interesse würde die Gestalt der Schwankungscurve sein zu der Zeit des Beginnes der zweiten Schwankung, sofern an dieser Stelle eine Unstetigkeit im Verlauf der *a*+*b*-Schwankungscurve eintreten müsste. Dass an dieser Stelle eine Knickung im Curvenzug vorhanden sein müsse, lässt sich a priori

wohl annehmen. Es ist mir indessen bei dem in Rede stehenden engen Intervall nicht gelungen denselben mit dem Rheotom nachzuweisen. Begründet ist dies zum Theil in der Form der Curve, zum Theil in anderen Momenten. Bei engem Intervall fällt der Beginn der zweiten Schwankung entweder in den aufsteigenden Theil der ersten Schwankung, nahe dem Gipfel, oder entwickelt sich erst, wenn jene ihre grösste Höhe erreicht hat. Für den aufsteigenden Theil der α -Schwankung bedürfte es aber seiner Steilheit wegen eines ausserordentlich grossen plötzlichen Zuwachses der Ordinatenhöhe, um eine solche Knickung erkennen zu lassen. In dieser Beziehung scheint jedoch auch für die Doppel- und mehrfachen Schwankungen dieselbe Grenze gesetzt zu sein, wie für die einfache Schwankung. Ihr Betrag geht nicht über die Grösse des Ruhestromes hinaus, und der Schwankungszuwachs kann desshalb, wenn die Ordinaten der α -Schwankung schon dieser Grenze sich genähert haben, nur klein werden. Können somit die Unterschiede in der Steilheit des Anstiegs, welche die Curve der Doppelschwankung vor und nach dem Einsetzen der zweiten Schwankung etwa zeigen würde, nur klein ausfallen, so bedürfte es ausserdem, um sie deutlich zu erkennen, der Bestimmung einer grösseren Zahl von Ordinaten während der Anstiegsdauer, und zwar bei möglichst kurzer Boussolzeit; in dieser Beziehung ist jedoch dem Versuche theils durch die mit der Kürze der Boussolzeit bei gleichbleibendem absoluten Fehler wachsenden relativen Fehler derselben, theils auch durch die Ermüdung des Präparates bald ein Ziel gesetzt, und ich habe mich desshalb auf eine genauere Bestimmung dieses Theils der Curve bei einem so engen Reizintervalle nicht weiter eingelassen.

Mit der Vergrösserung des Intervalls nun erleidet die Gestalt der Curve sowohl, als auch der Schwankungszuwachs bei der Doppelreizung beträchtliche Veränderungen.

Wenn die zweite Schwankung erst einsetzt, nachdem die erste ihren Gipfelpunct geraume Zeit verlassen hat, also bei etwa 0,004 Sec. Intervall, beginnen die $a+b$ -Ausschläge wieder zu wachsen, je weiter man mit den Stellungen des Reizcontactes in das Gebiet der zweiten Schwankung hineinrückt. Sie erreichen dort ihr Maximum, wo die zweite Schwankung selbst am höchsten ist, und sinken wieder mit ihr. Die Schwankungscurve bekommt jetzt also bei der Doppelreizung einen zweiten Gipfel. Dieser bleibt an

Höhe zunächst innerhalb einer ziemlichen Breite des Intervalles hinter dem der Einzelschwankung mehr oder weniger beträchtlich zurück. Beispiele hierfür finden sich in den Versuchen 79 u. 80, dazu noch von den Versuchen mit dreifacher Reizung in Versuch No. 93, I. Von diesen giebt Versuch 80 ein Beispiel, dass die zweite Schwankung bei diesem Intervall nahezu die Höhe der ersten erreichen kann. Dies Verhalten ist jedoch bei einem Intervall von 0,004 Secunden nicht die Regel. Man findet selbst bei Intervallen bis zu 0,008 und 0,01 Secunde eine ausgesprochene Verkleinerung der zweiten Schwankung. Beispiele hierfür finden sich in den Versuchen mit dreifacher Reizung, insbesondere in Versuch Nr. 93, II.

Sieht man von der Höhe der Ordinaten der Schwankung ab, so findet sich im Allgemeinen mit Deutlichkeit noch das Verhalten ausgesprochen, dass der durch den zweiten Reiz erstehende Flächenzuwachs der Schwankung bei 0,004 secundlichem Intervall absolut und relativ bedeutend grösser ist, als bei einem Intervall von nur 0,002 Secunden. Man kann die Fläche der zweiten Schwankung in Versuch Nr. 93 I ganz gut auf etwa den 4. bis 5. Theil der Einzelschwankung veranschlagen. Bei einem Intervall von 0,008 bis 0,01 Secunden werden nun hin und wieder die Verluste, welche die zweite Schwankung durch das Vorangehen der ersten erleidet, so klein, dass sie an der einzelnen Curve und deren Fläche unmittelbar nicht mehr erkannt werden können, wie dies z. B. Versuch 95 und 96 zeigen, während jetzt deutliche Aenderungen ihres zeitlichen Verlaufes in den Vordergrund treten. Es erreicht jetzt die zweite Schwankung früher ihr Maximum, als dies nach dem Reizintervall eigentlich geschehen sollte. Dies Verhalten ist in den Versuchen Nr. 94—98 deutlich zu erkennen. In den Versuchen 94 und 97 selbst beträgt diese Verschiebung etwa $\frac{1}{250}$ Secunde, in den andern ist sie kleiner. Eine eigentliche Verkürzung der Latenzzeit ist jedoch nicht damit verbunden, insofern das zweite Wachsthum der Ausschläge bei der Doppelreizung stets auch bei denjenigen Schieberstellungen seinen Anfang nimmt, in denen die *b*-Schwankung allein eben in das Bereich der Boussolableitung eintritt.

Aus den citirten Versuchen tritt zunächst uns als allgemeinstes Resultat die Eigenthümlichkeit des Muskels entgegen, dass er seine volle Schwankungsfähigkeit erst einige Zeit nach Ablauf der ersten

Schwankung wieder erlangt. Ist der Betrag der zweiten Schwankung, welcher sich zu der ersten als Schwankungszuwachs bei engerem Reizintervall zunächst einfach hinzuaddirt, sehr gering, so wächst er bei wachsendem Reizintervall allmählich beträchtlich an. Bei engerem Intervall ist es durch die Art des zeitlichen Verlaufs der ersten Schwankung bedingt, dass die dem zweiten Reiz zugehörige Schwankung als solche nicht sichtbar werden, sondern nur als Zuwachs zu der ersten Schwankung auftreten kann. Zieht man von dem Betrag der Doppelschwankung bei jeder einzelnen Messung den Betrag der ersten Schwankung ab, so kann man die Grösse und den Verlauf der zweiten, durch die vorausgegangene erste Erregung modificirten Schwankung in gleicher Weise graphisch darstellen, wie wir dies für die einzelnen Schwankungen und für die Doppelschwankung gethan haben, indem man die erhaltenen, stets positiven Differenzen als Ordinaten über der Zeit, resp. den Schieberstellungen als Abscisse aufträgt. Die so erhaltenen Curven erheben sich zu derselben Zeit von der Abscisse, wie die durch den *b*-Contact erzeugte Schwankung allein, und erreichen ihre höchste Höhe bei engem Intervall gleichzeitig mit dieser, um ebenfalls gleichzeitig, erst convex, dann concav zur Abscisse weiter abzusinken. Aber die Geschwindigkeit ihres Anstieges ist zu gering, um, wenn ihre Ordinaten zu den angleichen Stelle befindlichen Ordinaten der ersten Schwankung zuaddirt werden, an der so resultirenden Curve eine Unstätigkeit ihres Verlaufes erkennen zu lassen. Wächst dagegen mit zunehmendem Intervall die modificirte zweite Schwankung, so wird dieselbe sehr bald in der Curve der Doppelschwankung deutlich erkennbar.

Zur Ermittlung des Reizintervalls, welches nöthig ist, damit unter allen Umständen die zweite Schwankung bis zum Betrage der ersten sich wieder emporhebt, reichte die Winkelbreite, innerhalb deren die Contacte am Rheotom verstellt werden konnten, nicht aus. Bei dem grössten verfügbaren Intervall von 10 Rheotomgraden, welche bei einer Umlaufgeschwindigkeit von 0,2 Secunden einem Intervall von $\frac{1}{50}$ Secunde entsprechen, kann der Flächenraum der zweiten Schwankung nach vorangegangenen ersten Reiz noch immer kleiner ausfallen, als die vom zweiten Contact aus allein, ohne Mitbenutzung des ersten Contactes erzeugte Schwankung, wie dies Versuch Nro. 95 zeigt. Zwar möchte dies im ersten Augenblick nicht so scheinen, da die Ordinaten der *a* + *b* Schwan-

kung an Höhe die Ordinaten der vom *b*-Contact allein erzeugten Schwankung bedeutend übertreffen, construirt man sich indessen nach den auf der vorigen Seite erörterten Principien den wahren Betrag der zweiten Schwankung aus Ordinaten welche von der Differenz der Ausschläge der Doppelreizung und der *a*-Reizung dargestellt werden, so tritt die verkleinernde Wirkung des vorangegangenen *a*-Reizes deutlich in die Augen.

Für alle Fragen, welche die Natur des tetanischen Erregungsvorganges angehen, würde es offenbar von Wichtigkeit sein, zu wissen, bei welchem Reize einer tetanisirenden Reizreihe die beobachtete Verminderung der Schwankungen ihr Ende erreicht, und somit erhob sich im Verlaufe der Untersuchung die Forderung, die Beobachtungen auch über die später folgenden Schwankungen hin auszudehnen. Vorversuche lehrten bald, dass am ausgeschnittenen überlebenden Muskel die Untersuchung nicht durchzuführen sei. Im allgemeinen steigt bei den Boussolen mit gedämpft schwingenden Magneten die Schwingungszeit in dem Maasse, wie man das Instrument durch die Astasirung empfindlicher macht. Es erfordert desshalb eine empfindlichere Einstellung desselben eine grössere Zuckungszahl zur Vollendung einer jeden einzelnen Ablesung, als eine weniger empfindliche, und da man aus leicht ersichtlichen Gründen mit den auf die einzelne Messung entfallenden Zuckungen möglichst sparen muss, ist es geboten, die Astasie so klein zu nehmen, als sich dies mit dem Versuche irgendwie verträgt. Bei dem mir zur Verfügung stehenden Instrument waren bei einem Ausschlage zwischen 10 und 15 Scalentheilen bereits gegen 40 Reizungen in dem gewählten Intervall von 0,2 Secunden — der Umlaufszeit des Rheotoms entsprechend — nöthig, und dies ergibt bei etwa 20 Ablesungen für die Bestimmung des Schwankungsverlaufes bei nur zwei Reizen bereits 800 einzelne Reize, welche die verwendeten Muskeln in den seltensten Fällen ertrugen, ohne deutliche Ermüdung zu zeigen. In den fortgeschritteneren Stadien derselben aber ist ihre Einwirkung auf den Verlauf der Schwankung von gänzlich unberechenbarem Einfluss. Es wirkt hier der erste Reiz in der ausgesprochensten Weise erregbarkeitssteigernd, so dass statt der sonst gebräuchlichen Schwankungsabnahme eine Schwankungszunahme eintritt, welche den Ausschlag der Doppelreizung oft weit über die Summe der bei-

den, bei Reizung je vom *a*- und *b*-Contacte allein zu erhaltenden Ausschläge ansteigen lässt. Die Hubhöhe der Doppelzuckung wächst diesfalls dann auch beträchtlich über die der Einzelzuckungen hinaus, selbst bei einem Reizintervalle von 0,002 Secunden, bei welchem normaler Weise der Zuckungszuwachs im Ganzen gering zu sein pflegt; sie geht hierbei sogar häufig auch über die Summen der Hubhöhen der *a*- und *b*-Zuckungen hinaus. Mit weiterer Ermüdung schwindet dann das Phänomen, sobald sämtliche Muskel-Functionen bis zum Verschwinden abnehmen. Andernteils ist deutlich erkennbar, dass die Ausschläge mit der Verschiebung des Reizcontactes von einer gewissen Schieberstellung an von 0 aus wachsen und dann wieder abnehmen. Da diese Schieberstellung mit derjenigen zusammenfällt, bei welcher die *a*-Schwankung beginnt, ist das unmittelbare Einbrechen der reizenden Inductionsströme in den Boussolkreis sowohl hiedurch, als auch durch den übrigen Verlauf der Vorgänge ausgeschlossen, da denn nicht wohl anzunehmen wäre, dass sich im Stadium der Muskelermüdung jedesmal irgendwelche Veränderungen im Untersuchungsapparat eingestellt haben sollten, die den Uebergang von Stromschleifen in den Muskel und die Boussole ermöglichten. Im übrigen schützt die Polvertauschung in der secundären Spirale vor Täuschung: sie ist ohne Einfluss auf den Gang der Erscheinung. Es betrug in dem im übrigen nicht mitgetheilten Versuch Nro. 68 der Ausschlag bei Reizung vom Contact *a* aus 6, vom Contact *b* aus 3 Scalentheile, der Erfolg der Doppelreizung dagegen war vor und nach der Polvertauschung ein Ausschlag von 18 Scalentheilen. Da ferner alle Handgriffe, welche den Wechsel zwischen Einzelreizung und Doppelreizung und die Benutzung bald des einen, bald des andern Contactes zur Einzelreizung bezwecken, ausserhalb des Rheotoms, und ohne an demselben etwas zu ändern, vorgenommen werden, ist auch eine Aenderung der Umlaufgeschwindigkeit ausgeschlossen, durch welche ein grösserer Theil der Schwankung abgeleitet, und so eine Vergrösserung derselben vorgetäuscht werden könnte. Im übrigen erhellt aus der Wirkungslosigkeit der Polvertauschung, dass polare Veränderungen der Erregbarkeit im Nerven nicht Ursache der Erscheinung sein können.

Es sei dem aber, wie es wolle, jedenfalls war durch die eben beschriebenen Vorgänge die Nothwendigkeit erwachsen, die dritte Schwankung unter Verhältnissen zu studiren, die die Er-

müdung möglichst hinausschoben. Ich habe mich desshalb für die noch folgenden, übrigens schon theilweise citirten Versuche des blutdurchströmtens, im übrigen aber möglichst isolirten Gastrocnemius zur weiteren Untersuchung bedient. Die zur Anfertigung des Präparates nöthigen Handgriffe sind ziemlich zahlreich.

Zwecks der Anästhesirung, sowie um eine unbewegliche Lagerung des Muskels zu ermöglichen, werden beide Nervi ischiadici, möglichst hoch oben durchschnitten¹⁾, darauf der Ischiadicus selbst am Oberschenkel aufgesucht, und dicht unter dem Abgang der grösseren, für die Oberschenkelmuskulatur bestimmten Nerventämme durchtrennt. Dort, wo er in der Kniekehle in zwei Aeste sich theilt, wird er abermals aufgesucht, und nach Unterführung eines feinen Häkchens durch einfachen Zug mit leichter Mühe aus seiner Scheide von der oberen Schnittstelle an herausgeholt. Blutungen lassen sich so bequemer vermeiden, als bei dem Versuche, den Stamm in seinem Verlauf zu isoliren, und zwischen die Muskeln versenkte Elektroden unter ihn zu schieben.

Zur Isolirung nun des Gastrocnemius macht man zwischen erstem und zweiten Viertel des Unterschenkels in die Haut zwei längslaufende Einschnitte, gross genug, um eine schwächere Pincette durch den einen hindurch zwischen den Gastrocnemius und die übrigen Muskeln ein- und durch den anderen Einschnitt wieder herauschieben zu können. Man führt nun durch die Wunde mit

1) Die Ausführung der Operation wird durch die Resection des Kreuzbeins sehr erleichtert. Für diese aber ist folgender kleine Handgriff sehr nützlich. Wenn man Haut und darunterliegende Fascie in der Länge des zu resequirenden Stückes durchtrennt hat, mache man, die Schneide der Kreuzbeinspitze zugewendet, am oberen Wundwinkel dicht am Knochen parallel demselben jederseits einen etwa 2 mm breiten Stich, so tief, dass die in die Stiche eingeschobenen beiden Branchen einer Pincette eben durch die Muskulatur durchdringen können. Während man nun den Frosch fest fasst und namentlich die Kreuzbeinspitze gegen den Daumen der linken Hand stützt, gleitet man, die Pincettenbranchen stark zusammendrückend, mit diesen am Knochen bis zu seiner Spitze, wo er knorplich wird, herunter. Die Pincettenbranchen reissen hierbei alles, was Muskel ist, unblutig vom Knochen herunter, und alles, was in dem von den beiden Darmbeinen begrenzten Viereck liegt, wird auf diese Weise sofort vollkommen freigelegt, wenn man jetzt mit der Scheere das Kreuzbein an Basis und Spitze abschneidet und heraus nimmt. Verletzungen irgend welcher Gefässe sind so fast ausgeschlossen; die Fleischwunde lässt sich bequem wieder zunähen.

Hülfe der Pincette einen kräftigen Seidenfaden und schnürt mit ihm alles was nach vorn von ihm liegt, mit einer Massenligatur zusammen. Dieselbe lässt den aus der Tibialis stammenden wichtigsten der den Gastrocnemius versorgenden Arterienäste unverletzt. Hierauf schlitzt man, von der Ferse beginnend, die Wadenhaut bis zur Kniekehle auf, den in derselben verlaufenden Arterienstämmen möglichst ausweichend, und hat nun noch nur zwei dicht an der Achillessehne in einem von der Haut übergreifenden Fascienzug verlaufende Gefässe eventuell doppelt abzubinden, und zwischen Ligatur und Haut zu durchtrennen, um, nach Schlitzung der Achillessehne, Anätzung ihres Sehnenspiegels und dem Aufnähen der Electrodenfäden den Muskel nach oben umschlagen zu können. Darauf folgt die Abtrennung des Fusses im Sprunggelenk, und nachdem der restirende Hautlappen nach oben umgeschlagen ist, die Reinigung des Tibiastumpfes von der noch vorhandenen Musculatur. Kennzeichen für den gut erhaltenen Kreislauf des Muskels ist der Umstand, dass der Muskel bei Streckung durch starken Zug farblos wird, beim Nachlassen des Zuges seine rothe Farbe jedoch sofort wieder gewinnt. Durchschneidet man ihn ferner nach beendigten Versuche, etwa in seiner Mitte, so rinnt aus der Schnittfläche Blutstropfen um Blutstropfen ab, bis zur Verblutung.

Nun wird der Frosch auf ein horizontales mit Glas belegtes Brettchen, an den Vorderextremitäten leicht gefesselt, so aufgelegt, dass die zu benutzende hintere Extremität über die Kante des Brettchens gerade nach unten hängt. Dort fasst eine, dem Dubois'schen Muskeltelegraphen entnommene Zange die ebenfalls nach abwärts hängende Tibia, und hält sie, nur um das nöthige aus ihrer Berührungsfläche mit dem Muskel abgelenkt, fest. Dann wird der Nerv aus der Wunde herausgezogen, auf die Reizelectroden gelegt, die Kochsalzfäden der Muskelelectroden mit Dubois Thonstiefeln verbunden, der Muskelhebel eingehakt, über das ganze eine feuchte Kammer gestellt¹⁾ und der Versuch kann endlich beginnen.

Die ziemlich lange Mühe der Zurichtung lohnt sich, insofern man jedenfalls darauf rechnen kann, den Muskel über die zweite Schwankung hinaus frisch zu erhalten. Während der Ablesung

1) Ich habe es später einfacher gefunden, nur den Frosch feucht zudecken und den Nerven ab und zu anzufeuchten.

der dritten Schwankung jedoch fängt in den weitaus meisten Fällen die Ermüdung an, sich durch die allgemeine Ordinatenabnahme der Schwankungen anzuzeigen. Ich bin jedoch ohne diese Präparation überhaupt nicht bei der dritten Schwankung zu ablesbaren und verwendbaren Werthen gekommen, wenn nicht die oben citirten Veränderungen der Erregbarkeit eintraten, welche die letzte und die vorangehenden Schwankungen überhaupt unvergleichbar machten. Zur Charakteristik des Nutzeffektes möge die Bemerkung dienen, dass in dem Versuch Nro. 96 104 Ablesungen mit praeter propter 3500—4000 einzelnen Reizungen erhalten wurden, und dies Mitte Dezember, zu einer Zeit, wo das Froshmaterial sich bereits nicht mehr in der besten Verfassung befindet.

Was bei Versuchen mit so zugerichteten Thieren zunächst auffällt, ist eine stetige, geringe Unruhe der Scala, die sich im allgemeinen jedoch weniger in den Versuchszahlen, als mehr der unmittelbaren Betrachtung offenbart. Das zuverlässige Hilfsmittel, den Gang der Maschine zu controlliren, die Ersetzung des Muskelstromes durch den Stromzweig eines Daniells, weist unmittelbar nach, dass unregelmässige Funktion des Apparates nicht Ursache der Erscheinung ist. Sie ist übrigens nur in den seltensten Fällen so störend, dass der Versuch darunter leidet. Sie rührt möglicherweise von leichten Vertrocknungs-Erregungen am abgeschnittenen Nervenende her, sofern sie, nämlich wenn sie besonders stark wurde, durch Abspülen der Nerven mit physiologischer Kochsalzlösung schnell auf ein geringeres Maass gebracht werden konnte.

Die erhaltenen Resultate selbst lassen sich dahin deuten, dass bereits mit dem zweiten Reiz ein für die fernere Reizung definitiver Zustand eingetreten ist. Fälle, bei denen dies unmittelbar sichtbar ist, geben freilich nur die Versuche Nro. 90, 92 und 93. In diesen weicht die Schwankung des *c*-Contactes nicht erheblich an Höhe von denen des *a*- und *b*-Contactes ab, und der der *c*-Reizung zugehörnde Antheil aus der Schwankung bei dreifachem Reiz verläuft, und dies gilt besonders für Versuch 93 I, nicht wesentlich anders als der auf die *b*-Reizung entfallende Theil der Schwankungscurve bei Doppelreizung. In den übrigen Versuchen fällt die Schwankung des *c*-Contactes der Ermüdung wegen meist erheblich kleiner aus, als die des *a*- und *b*-Contactes, es ist aber trotzdem aus den Schwankungscurven ersichtlich, dass der

c-Antheil der dreifachen Reizung zur Schwankung bei Reizung durch den isolirten *c*-Contact in ungefähr demselben Verhältniss steht, wie der dem *b*-Contact zugehörige Schwankungsantheil der zweifachen Reizung zu der durch alleinige Reizung vom *b*-Contact aus erhaltenen Schwankung.

Abgesehen von der unmittelbar sinnlichen Darstellung des Schwankungsverlaufes gestatten die mitgetheilten Versuche, wie ich glaube, auch sonst einige bemerkenswerthe Schlussfolgerungen. Zunächst geht aus ihnen unmittelbar hervor, dass der Muskel nach der Auslösung einer Erregungswelle nicht sogleich im Stande ist, den Erregungsprocess in gleicher Stärke zu wiederholen. Ja es scheint sogar, als ob in der der Auslösung des Schwankungsprocesses unmittelbar folgenden Zeit der Muskel überhaupt unfähig ist, einen neuen Erregungsanstoss von Seiten des Nerven anzunehmen, da denn aus dem Vergleich der Schwankungszuwächse bei der zweiten Reizung in 0,002 und 0,004 secundlichem Intervall sich entnehmen lässt, dass der bei 0,002 secundlichem Intervall schon sehr kleine Schwankungszuwachs bei noch engerem Intervall bis zur Unkenntlichkeit zusammenschrumpfen würde. Das mit dem Intervall zunehmende Wachsthum der zweiten Schwankung aber deutet unmittelbar darauf hin, dass von Anbeginn der ersten Schwankung an eine Neubildung des die Schwankung bestreitenden Materials anhebt, welche, eine messbare Zeit dauernd, ihr Ende erreicht, sobald die Menge der wieder angebildeten Substanz eine bestimmte Grösse erreicht hat. Die Grösse dieser Zeit lässt sich nach dem hier vorliegenden Material nicht oder nur annähernd bestimmen. Sie dauert mindestens 0,01 Secunden, ist aber, nach den Eingangs dieser Arbeit citirten Versuchen über die Summation der negativen Schwankungen jedenfalls bedeutend grösser, und wird unter Umständen bis zu 0,03 Secunden hinauf gehen können, da der maximale Grenzwert der gesammten tetanischen Schwankung, auf Tetani gleicher Dauer bezogen, oft schon bei diesem Reizintervall erreicht wird. Ich will, um für diese Zeit einen kurzen Namen zu haben, dieselbe „Assimilationszeit“ nennen, da doch offenbar in ihr Prozesse ablaufen müssen, durch welche unter Entnahme von Material aus dem Energievorrath des Muskels zunächst mindestens diejenigen Reconstructionen seiner Substanz geschehen, durch welche er zum Ablauf einer neuen Schwankung befähigt wird.

Aus den Untersuchungen von Helmholtz über die Summation zweier maximaler Zuckungen ergibt sich, dass der Zuckungszuwachs bei einem Reizintervall von $\frac{1}{600}$ Secunde unmerklich wird. Mit der Vergrößerung des Reizintervalls nimmt der Zuckungszuwachs zu, und erreicht nach Sewall¹⁾ sein Maximum bei einem Intervall von 0,048 Secunden. Summationen in einem engeren Intervall als $\frac{1}{600}$ Secunde, wie sie Sewall noch bis zu 0,001 Secunde Intervall angiebt, sind jedenfalls sehr gering. Der durch den zweiten Reiz bedingte Schwankungszuwachs wird bei einem kleineren Intervall als 0,002 Secunden wie oben bemerkt ebenfalls nur klein sein können, und jedenfalls rasch bis an die Grenze der rheotomischen Messbarkeit abnehmen.

Wenn es sich um nur zwei Reize in einem Intervall handelt, das enger ist als die Latenzzeit des Muskels, so können die Contractionsprocesse nicht modificirend in die Schwankungsgrösse eingreifen, es muss also der geringe Betrag der während der Schwankung sich abspielenden Vorgänge Ursache des geringen Verkürzungszuwachses sein.

Dass die Grösse der zweiten Schwankung nicht beeinflusst wird durch den Grad der Verkürzung, in welcher sich der Muskel als Folge des ersten Reizes befindet, ergibt sich auch aus Versuchen wie die der Eingangs dieser Arbeit citirten Versuchsreihe. Aus ihnen lässt sich schliessen, dass die Abnahme der einzelnen Schwankung schon beginnt bei einem Intervall, welches zur vollständigen Verschmelzung der einzelnen Zuckungen noch nicht genügt. Im maximalen Tetanus selber findet ausserdem jede folgende Schwankung bei gleichem Verkürzungsgrade statt, wie die vorhergehende und trotzdem fällt mit dem Intervall der absolute Werth des Antheils, mit welchem sie an der Gesamtschwankung theilnimmt. Die Uebereinstimmung, welche diese bei reiner Querschnittsableitung angestellten Versuche mit den Ergebnissen der gegenwärtigen Untersuchung bieten, giebt auch den aus der Benutzung des Gastrocnemius hergeleiteten Einwänden nur mindere Bedeutung.

Wenn man sich von dem allgemeinen Verlauf der electricen Veränderungen während des Tetanus eine Vorstellung machen will,

1) H. Sewall, On the effect of two succeeding stimuli upon muscular contraction. Journal of physiologie II, S. 164—190.

wird es bequemer sein statt von der Curve der negativen Schwankung von der der Actionsströme zu reden.

Von einem Intervall ausgehend, dessen Grösse unter Umständen mit der Zuckungsdauer identisch sein möchte, — worüber jedoch bis jetzt noch nichts feststeht, — in welchem aber alle Schwankungen gleich gross sind, werden die späteren Schwankungen mit Abnahme des Intervalls kleiner. Abgesehen von der ersten Schwankung behalten sie jedoch immer untereinander gleichen Flächeninhalt, die Höhe ihrer Gipfelpuncte braucht jedoch Anfangs wenigstens nicht immer gleich zu sein, und es kann der Gipfel der zweiten Curve über dem der ersten liegen. Mit der Verkleinerung des Intervalls von Versuch zu Versuch nimmt ihr Flächeninhalt nun ebenfalls ab. Die vom zweiten Reiz an erreichten Gipfel sind, obwohl untereinander gleich, so doch beträchtlich niedriger als der erste, und die Curven verflachen allmählich, um bei engstem Intervall so flach zu werden, dass die, die Gesamtcurve zusammensetzenden Einzeltheile rheotomisch nicht mehr von einander gesondert werden können.

Die Grenzen des Intervalls, bei denen das Rheotom versagt, sind dieselben, bei denen der stromprüfende Froschschenkel ebenfalls anfängt anzudeuten, dass die Unstätigkeiten oder periodischen Veränderungen der Stromescurven unter das den Nerven erregende Mass hinuntersinken. Der secundäre Tetanus macht, obwohl am frischen Präparat vorhanden, an dem bereits benutzten Muskel bald der secundären Anfangszuckung Platz, in welche er, unter allmählicher Verkürzung seiner Dauer, bald übergeht, ohne dass die Verkürzungsgrösse des primären Tetanus mit abnimmt. Bei Intervallen von 0,004 Secunden merklich, und bei 0,002 Secunden sehr deutlich tritt diese Erscheinung bei noch engerem Intervall in den Vordergrund. Auch das Telephon, beim Froschmuskel bei nur weitem Intervall anwendbar, versagt beim Warmblüter jenseits dieser Grenzen, das Capillarelektrometer noch viel früher. Für engere Intervalle fliessen also die periodisch mit den Reizen entstehenden Actionsströme zu einem einzigen Actionsstrom zusammen, der obwohl theoretisch an Intensität noch wechselnd, practisch doch, zum wenigsten für den angelegten secundären Nerven, als constanter Strom zu betrachten ist.

Trotzdem befindet der Muskel sich dabei noch auf der Höhe der mechanischen Leistungsfähigkeit. In dieser Thatsache scheint mir

ein gewichtiges Bedenken gegen die Auffassung zu liegen, dass — zum wenigsten in der Muskelfaser — das Entstehen des Actionsstromes in einem Querschnittselemente der Faser Ursache der Erregung in einem benachbarten Elemente, und somit Ursache der Fortpflanzung der Erregung überhaupt sei.

Ich habe nun noch einmal auf die Erscheinungen am ermüdeten — ausgeschnittenen — Muskel zurückzukommen. Sie sind ganz aussergewöhnlich, und bilden vielleicht den Ausgangspunkt späterer Versuche für andere. Es wurde seinerzeit schon hervorgehoben, dass hier zunächst einmal die Summationen in ganz anderer Weise verlaufen, als gewöhnlich. Submaximale Zuckungen summiren sich nach bekannten Angaben in jedem Intervall. Die Zuckungen am ermüdeten Muskel verhielten sich in einer Anzahl von Fällen ähnlich wie erstere. Die summirten Zuckungen erreichten die doppelte Höhe der einfachen bei Intervallen von 0,002 bis 0,006 Secunden, und in nicht seltenen Fällen war die erreichte Hubhöhe beträchtlich mehr, als das doppelte der einfachen Zuckung, hin und wieder das 4—5fache derselben. Schleuderungen des Hebels meine ich ausschliessen zu dürfen, da das Hebelwerk genügend leicht, und nahe der Axe belastet war. Dass Schleuderungen auszuschliessen seien, zeigte die analoge Zunahme der negativen Schwankung. Besondere Eigenthümlichkeiten bot jedoch die dreifache Reizung, wenn das Rheotom so eingestellt war, dass der Gipfel des Actionsstromes der *c*-Reizung gerade in den Moment der Boussolableitung fiel. Der der *c*-Reizung entsprechende Ausschlag ist dann, der Abnahme aller Muskelfunctionen entsprechend, ziemlich gering, und die Ausschläge, welche dem *a*- oder *b*-Contact zugehören und dem Ende der *a*-, resp. *b*-Schwankung entsprechen, liegen dann, selbst bei nur 0,002 Secunden Intervall, oft schon in der Grenze der Versuchsfehler, indem sie sich zwischen 1,0 bis 0,5 Scalentheilen bewegen. Beobachtet man nun zunächst den *c*-Ausschlag, und geht dann, sobald er abgelesen ist, ohne Unterbrechung der *c*-Reizung sofort zur *a+b+c*-Reizung über, so wächst der Ausschlag meist sofort, manchmal auch erst nach mehreren Rheotomumläufen, zu der schon Seite 158 erwähnten paradoxen Höhe. Auf dieser Höhe bleibt er jedoch längstens 4—5 Secunden, danach nimmt er wieder ab, etwa bis zu den Werthen der isolirten *c*-Reizung. Schaltet man jetzt — alles während derselben Ablesung — den *a*-Contact durch

Oeffnung des Vorreibers α aus, so wächst der Ausschlag wieder, ebenso, wenn man statt des a -Contactes den b -Contact ausschaltet. Stellt man jetzt das Rheotom so ein, dass statt der c -Schwankung das Maximum der b -Schwankung abgeleitet wird, so wächst beim Einsetzen der $a+b+c$ -Reizung der Ausschlag entweder sofort, oder auch erst nach mehreren Secunden zur früheren Höhe, und bleibt nun im Verlauf der Ablesung auf derselben stehen. Ob der c -Contact dabei mitarbeitet, oder nicht, ist gleichgültig, die Ausschaltung des a -Contactes drückt den Ausschlag wieder auf die Höhe des bei alleiniger b -Reizung beobachteten Werthes herab.

Ich habe in dem Stadium der Ermüdung, wo die paradoxen Summationen auftraten, nicht bemerken können, dass die Schwankung bei Einzelreiz solches nachträgliches Wachsthum zeigte. Es war dasselbe vielmehr immer nur eine Eigenthümlichkeit der summirten Reizungen, und trat im allgemeinen häufiger auf, wenn mit der $a+b$ -, resp. $a+b+c$ -Reizung sofort begonnen wurde, seltener wenn aus der a -Reizung ohne Pause, also während derselben Ablesung, zur mehrfachen Reizung übergegangen wurde. Es wird also die Veränderung der Erregbarkeit, welche Ursache der paradoxen Summation ist, schon eingeleitet durch Reize, welche in einem Intervall von 0,2 Secunden, — gleich der Umlaufszeit des Rheotoms — einander folgen, und die Zeit, welche diese Modification der Erregbarkeit den ersten Reiz überdauert, wächst allmählich, bis sie das jeweilige Intervall der Doppelreizung erreicht hat, ohne jedoch den Zeitwerth einer Rheotomumdrehung zu erreichen. Beobachtet wurde die paradoxe Summation noch bei 0,02 Secunden Intervall. Ob sie über ein grösseres Intervall hinausreicht, habe ich nicht entscheiden können, da der Apparat, wie schon früher erwähnt, ein grösseres Intervall anzuwenden nicht gestattete.

Das Ermüdungsstadium, während dessen die in Rede stehenden Erscheinungen ablaufen, ist leider zu kurz, als dass sich über das wechselseitige Verhältniss der zweiten und dritten Schwankung etwas feststellen liesse. Man könnte zunächst daran denken, dass der grösste Werth der Schwankung erst beim dritten, vielleicht auch noch bei einem späteren Reiz erreicht würde. Ich habe an diese Möglichkeit jedoch erst nach Abschluss dieser Untersuchung gedacht, und muss die eventuelle Beantwortung dieser Frage auf eine spätere Zeit verschieben. Sicher geht jedoch aus der oben gegebenen Schilderung des Thatsächlichen hervor, dass das Maximum

der Schwankung nicht immer bei derselben Ordnungszahl des Reizes erreicht wird, sondern dass, wenn während einer, etwa 20 bis 40 $a+b+c$ -Reizungen umfassenden Ablesung, bei Einstellung des Rheotoms auf das Maximum der c -Schwankung, die Schwankungswerthe beim Beginn der Ablesung noch gross sind, dieselben nach Ablauf etwa der 20. bis 40. Reizung abnehmen und die paradoxe Summation sich nur noch während der Dauer der b -Schwankung erhält.

Es ist begreiflich, dass diese etwaige Verschiebung des Schwankungsgipfels eine Verwendung der bei den Ablesungen erhaltenen Ausschläge zur Construction der Curve paradox summirter Schwankungen sehr erschwert, und ebenso, dass alle Schwankungswerthe, welche in dem Uebergangsstadium von dem normalen zum paradoxen Verhalten gewonnen wurden, zur Curvenconstruction überhaupt nicht verwendbar sind. Es würde zum Beispiel ein vollständig falsches Bild der summirten Schwankungen entstehen, wenn man zur Construction der Curve in Versuch Nr. 76 ausser den bei den Einstellungen des Reizcontactes Nr. 1—8 (vgl. das Protocoll) auch noch die Contacteinstellung Nr. 9 benutzen wollte. Ebenso hat wahrscheinlich die Curve I der summirten Schwankung des Versuches Nr. 85 auf dem beigegebenen Curvenblatt durch die allmähliche Entwicklung der paradoxen Summation starke Entstellungen erfahren.

Ich habe den Versuch gemacht, mit Hülfe der Versuchsdaten zu Ende des Versuches Nr. 85 und Nr. 88 eine Curve der paradoxen summirten Schwankungen zu zeichnen. Bei der Verwerthung der Versuchsziffern zur graphischen Darstellung war jedoch Folgendes zu berücksichtigen. Es wäre zunächst ganz leicht möglich, aus den durch den Versuch erhaltenen Ordinaten sich eine Curve von vollkommen stetigem Verlauf zu construiren. Dies wäre jedoch falsch. Die bei der Einstellung 77,5 und 77,0 des Versuches 85 erhaltenen Ausschläge der $a + b$ -Reizung (Nr. 9 und 10) sind, wie aus den a - und b -Reizungen der vorangehenden Ablesungsgruppen (Nr. 6 bis 8) und aus den vorangehenden Daten dieses Versuches ersichtlich ist, nur als Bruchtheile der a -Schwankung zu betrachten. Diese aber hat, ebenfalls nach Ausweis der genannten Ablesungen, bei der Einstellung 77,0 des Reizcontactes ihren höchsten Werth, und es müsste demnach ihre Curve bei dieser Einstellung der Abscisse nahezu parallel laufen. Bei der

Einstellung 77,0 aber beginnt die *b*-Schwankung mit einem, allerdings noch sehr geringen Werthe. Wir müssen daher in der graphischen Darstellung an dieser Stelle eine Unstätigkeit der Curve annehmen, da dieselbe einmal kurz vor der Einstellung 77,0 der Abcisse nahezu parallel verlaufen, andererseits aber von dieser Stelle selbst aus mit ziemlicher Steilheit bis zu dem bei der Einstellung 76,0 erreichten höchsten Werthe ansteigen muss.

Es liegt in der Natur des Repetitionsverfahrens, dass die bisher bekannten Erscheinungsweisen der Zuckungstreppe in den durch das Rheotom ermittelbaren Schwankungswerthen zum Ausdruck nicht gebracht werden können. Die rheotomische Untersuchung verlangt zur Ermittlung einer einzelnen Schwankungsordinate ja stets eine grössere Zahl von Reizungen und die Zuckungstreppe hat — maximale Reizung vorausgesetzt — bereits bei einer Ordnungszahl der Zuckungen ihren höchsten Werth erreicht, bei welcher die Ablenkung der Galvanometernadel ihren höchsten Stand noch nicht erreicht hat, so dass die Ablesung erst gemacht wird, nachdem die Treppe vollendet ist. Die beobachteten Schwankungswerthe können daher nur als solche betrachtet werden, die den Zuckungen am Ende der Treppe, oder bereits solchen angehören, die erst nach Erreichung des Grenzwertes ausgelöst werden.

Untersuchungen über das Auftreten der Schwankungstreppe könnten also nur vorgenommen werden, wenn das Intervall zweier einander folgenden Schwankungen *a* und *b* bedeutend kleiner ist, als die Umlaufszeit des Rheotoms und die von der *b* Reizung bis zum nächsten *a*-Reiz verfließende Zeit so gross ist, dass die durch den *b*-Reiz hervorgebrachten Erregbarkeitsveränderungen bereits wieder verschwunden sind zur Zeit, wo der *a*-Reiz repetirt wird. Eine so grosse Umlaufszeit ist aber dem Repetitionsverfahren nicht zugänglich, und bei den gegebenen Grenzen der Umlaufszeit ist das verwendbare Intervall zwischen der *a*- und *b*-Reizung, das ja immer um ein vielfaches kleiner sein muss, als die Zeit von der *b*- bis zur *a*-Reizung, bereits so klein, dass — maximale Reizung vorausgesetzt — die Situation durch die noch nicht vollendete Neubildung der schwankungsfähigen Substanz und dementsprechend durch die schwankungsvermindende Wirkung des Intervalls vollständig beherrscht wird.

Man könnte also am frischen Muskel bestenfalls unter Be-

nutzung submaximaler Reize zur Darstellung der Schwankungstreppe gelangen, da man bei ihr voraussetzen darf, dass der *b*-Reiz aus dem vom *a*-Reiz noch übrig gelassenen Schwankungsvorrath plus dem neugebildeten schwankungsfähigen Material, eine zum mindesten gleich grosse submaximale Schwankung wird bestreiten können, wie der *a*-Reiz. Das Eintreten der Treppe innerhalb des Intervalls einer ganzen Rheotomumdrehung liesse sich vielleicht ausdrücken. Thatsächlich gelingt es auch, wenn man die Rollenabstände des Inductionsapparates möglichst an die Reizschwelle heran legt, die Zuckungen trotz des Auftretens der durch die Repetition der Zuckungen bewirkten Treppe annähernd untermaximal zu halten, aber sie werden jetzt sehr ungleich gross, werden hin und wieder maximal oder fallen auch ganz aus.

Die Ursache hierfür liegt in der Eigenthümlichkeit der reizen- den Contacte. Die Contactdauer muss unter allen Umständen merklich klein gegen das Reizintervall genommen werden und ist unter diesen Umständen, wie mir scheint, bereits kleiner als die vom Strom in der primären Spirale zu seiner Entwicklung benöthigte Zeit. Sobald dies der Fall ist, muss jedoch die Grösse der Inductionsschläge in der secundären Spirale mit der Dauer des Contactes im Reizkreise wechseln, und es liegt auf der Hand, dass bei submaximalem Rollenabstand auch sehr geringe Differenzen in der Dauer der Reizcontacte im primären Kreis erhebliche Unterschiede in den Zuckungen hervorbringen. Man müsste also versuchen, die Contactmethode zu ändern, oder die Grösse der bei maximaler Reizung im Nerven auslösbaren Erregung vielleicht unter Zuhülfenahme des Anelectrotonus zu vermindern, Versuche, zu denen ich augenblicklich die Zeit nicht gehabt habe.

Die eben erwähnte Eigenthümlichkeit der Rheotomcontacte gewährt nun aber in dem Stadium der paradoxen Summation Bürgschaft dafür, dass die einzelnen Reize noch maximal waren, denn die Zuckungshöhen waren, wenngleich gering, so doch genau einander gleich. Dann aber ergiebt sich für den frischen und den ermüdeten Muskel der Unterschied, dass jener die maximalen Contractions- und Schwankungsprocesse in einem kürzeren Intervall in gleicher Grösse wiederholen kann, als dieser.

Sucht man die Ursache dieses scheinbar fundamentalen Unterschiedes, so findet man sie leicht in dem Umfang des Processes selbst. Die maximale Contraction des frischen Muskels

verläuft mit allen ihren Antecedentien und Adnexen, Schwankung, Wärmeentwicklung, virtueller, am Spannungszeiger messbarer Kraftentwicklung unter viel grösseren numerischen Werthen, als die des ermüdeten Muskels. Wenn nun innerhalb eines gegebenen engen Intervalles letzterer seine maximale Leistung in gleichem Umfang wiederholen kann, ersterer aber nicht, so liegt die Erklärung hierfür wohl wesentlich in der Verschiedenheit der absoluten Werthe beider Leistungen.

Der ermüdete Muskel hat wenig Spannkraft verbraucht und daher auch nur wenig zu ersetzen, der frische Muskel hat viel verbraucht und bedarf daher eines reichlichen Ersatzes. Wenn sich die Assimilationsgeschwindigkeit, d. h. die Menge des in der Zeiteinheit ersetzten Materiales unter dem Einfluss der Ermüdung nicht ändert, muss der geringe Ersatz des ermüdeten Muskels in kürzerer Zeit geschafft werden, als der grössere des frischen Muskels. Die gesunkenen Leistungen des ermüdeten Muskels nun finden ihren Ausdruck bereits in den der Contraction vorangehenden Processen. Die Schwankungen sind klein geworden und der geringe Abgang an schwankungsfähigem Material kann, unveränderte Assimilationsgeschwindigkeit vorausgesetzt, schneller wieder ersetzt werden, als die relativ grosse Menge des vom frischen Muskel verbrauchten Stoffes. Die factisch beobachteten Schwankungen als Maasseinheit betrachtet, muss daher die zweite Schwankung beim frischen Muskel kleiner ausfallen, als beim ermüdeten.

Bei dieser Auffassung des Vorgangs verliert somit die paradoxe Summation ihre Paradoxie, und erklärt sich zugleich, weshalb beim ermüdeten Muskel die Schwankungstreppe unter den Bedingungen des Rheotomversuches sichtbar werden kann. Es ist in dieser Beziehung von Wichtigkeit hervorzuheben, dass beim ermüdeten Muskel der Schwankungsgipfel der zweiten Schwankung bei Doppelreizen zu ungefähr derselben Höhe emporsteigen kann, wie die erste Schwankung am unermüdeten. Der Vergleich der Einstellungen 76,5 und 76,0 in den Ablesungen 2 und 3 einerseits, 6 und 7 andererseits in Versuch Nr. 85 giebt hierfür Beispiele.

Eine Reihe von Arbeiten aus dem Leipziger physiologischen Institut, und insbesondere die schönen Untersuchungen M. v. Frey's¹⁾, haben uns als die drei Factoren, von welchen die Form der tetanischen Curve beeinflusst wird, erkennen lassen: die Selbstunterstützung, die Contractur und die Treppe. Das Verhalten der

negativen Schwankung zeigt, dass der Einfluss der letzteren mit fortschreitender Ermüdung stark zunimmt. Auf die Wirkung der Treppe lässt sich nun vielleicht auch noch die Erscheinung der Anfangszuckung zurückführen. Die Anfangszuckung entsteht nur bei submaximaler Reizung. Ich habe seinerzeit gezeigt²⁾, dass zum Zustandekommen der Anfangszuckung immer mehrere Reize nöthig sind, von denen jeder einzelne zur Erzeugung einer Zuckung nicht hingereicht haben würde. Es geht schon hieraus hervor, dass dieselbe nicht, wie Kronecker meint, als ein Product der Ermüdung in dem Sinne betrachtet werden kann, dass die Tetanuscure, die eigentlich als Folge einer Reihe von Reizen auftreten müsste, in aussergewöhnlich kurzer Zeit auf Null herabsinkt.

Wenn nun, der eben citirten Untersuchung entsprechend, die Anfangszuckung das unzweifelhafte Product mehrerer Reize ist, so müssen sich in dem zeitlichen Verlaufe derselben zweifellos Unterschiede zwischen ihr und der durch einen electrischen Momentanreiz erzeugten Zuckung auffinden lassen. Ich habe im Anschluss an die eben erwähnte Arbeit bereits früher nach solchen gesucht und hatte zunächst Unterschiede in den Latenzen beider Vorgänge erwartet. Da die Untersuchung solche nicht ergab, wurde das erhaltene Curvenmaterial zunächst bei Seite gelegt. Die eigenthümlichen Analogien zur Anfangszuckung, welche nun das hier mitgetheilte Verhalten der negativen Schwankung des ermüdeten Muskels bot, veranlassten mich nun, die Curven nochmals durchzusehen. Es stellten sich dabei allerdings einige bisher nicht beachtete Unterschiede zwischen beiden Zuckungsarten heraus.

Ich verweise zunächst bezüglich der einfachen Methodik des Versuchs auf die eben citirte Arbeit. Geändert wurde nur die Curvenschrift, indem Anfangszuckung und Zuckung durch Oeffnungs-inductionsschlag auf dieselbe Zeile geschrieben wurden. Hervorzuheben ist zunächst als allgemeine Regel, dass, wenn es gelingt,

1) Versuche zur Auflösung der tetanischen Muskelcurve. Beiträge zur Physiologie, C. Ludwig zu seinem siebenzigsten Geburtstag etc. S. 55 und: Reizungsversuche am unbelasteten Muskel, Du Bois Archiv 1887, S. 195.

2) Zur Frage nach der Natur der Anfangszuckung, Du Bois Archiv 1882, S. 357.

die Höhe der Anfangszuckung so abzustufen, dass sie der aufgeschriebenen Oeffnungsinductionsschlagzuckung gleich ist, die Dauer der Anfangszuckung immer um ein wenig grösser ist. Es fallen dann oft, aber nicht immer, die aufsteigenden Theile beider Curven so vollkommen in einander, dass auch die sorgfältigste Durchsichtung derselben mit dem Mikroskope Spuren einer zweimaligen Schrift in der Curve nicht nachweisen kann. Erst im Anfang etwa des zweiten Drittels des absteigenden Theiles wird die Curvenspur doppelt, und die der Anfangszuckung gehörige Curve verläuft langsamer zur Abscisse, als die der Inductionszuckung.

Neben diesen Fällen findet sich ein Reihe von Curven, in denen die Trennung beider Zuckungen bereits auf der Gipfelhöhe, oder auch etwas vor derselben beginnt. In beiden Fällen dauert die Anfangszuckung immer etwas länger, und im zweiten Falle wird der Zuckungsgipfel auch etwas später erreicht, als bei der durch den Inductionsschlag erzeugten Zuckung.

Weiterhin kann nun die Anfangszuckung sich so verlängern, dass ihre Dauer die der einfachen Zuckung um einen grösseren Bruchtheil derselben, oder auch um das mehrfache ihrer ganzen Länge übertrifft, so dass man statt von Anfangszuckungen eigentlich von Anfangstetanis reden müsste. Gegenüber den gewöhnlichen Tetanis findet sich in diesen nun — von der Eigenthümlichkeit der Anfangszuckung, dass die Muskelthätigkeit während der Reizung aufhört, ganz abgesehen — eine ganz charakteristische Abweichung von der gewöhnlichen Verlaufsweise sowohl des Tetanus, als der superponirten Zuckungen. Die Anfangstetani steigen stets langsamer an, als eine Inductionsschlagszuckung von gleicher Höhe, oder lösen sich bestenfalls von derselben auf ihrem Gipfelpunkte ab. Nie dagegen steigt ein Anfangstetanus schneller an, als eine gleich hohe Zuckung. Um etwaige Missverständnisse zu vermeiden, soll der Begriff des Anfangstetanus hier noch näher präcisirt werden. Es sollen unter Anfangstetanis immer nur solche Tetani verstanden werden, welche mit dem akustischen Stromunterbrecher erzeugt wurden, bei denen die Reizstärke so bemessen war, dass bei einer nur geringen Schwächung der Inductionsschläge die Zusammenziehung ganz ausblieb, und welche endlich, bei fortdauernder Reizung spätestens nach 0,3 Secunden, also etwa dem dreifachen einer einfachen Zuckungsdauer, spontan endigten.

Für das hier Mitgetheilte mögen die nachfolgenden Curven der Fig. IV Belege geben. Von diesen ist Curve 1 und 5 mit

Fig. IV.

300 Reizen pro Secunde, Curve 2 und 3 mit 220, Curve 4 mit 480 Reizen pro Secunde gezeichnet worden. Die Abkürzungen *AZ*, *AT*, *OZ* bedeuten Anfangszuckung, Anfangstetanus und Oeffnungszuckung. Zehn Millimeter Abscissenlänge entsprechen 0,014 Secunden. Die Curven 1 und 2 lassen die Unterschiede zwischen Anfangszuckung und Oeffnungsinductionsschlagszuckung deutlich erkennen, während die Curven 3, 4 und 5 zeigen sollen, dass die Anfangstetani nur ebenso schnell (Nr. 4 und 5), oder langsamer (Nr. 3) ansteigen als die einfache Zuckung. Bezüglich des Standes der Inductionsrolle, welcher beim Uebergang von der einen zur andern Reizart jedesmal gewechselt werden muss, gilt das l. c. bereits Angeführte.

Wenn nun auch durch die eben citirte Untersuchung für die Ansicht Kroneckers, die er übrigens mit experimentellen Gründen zu belegen nicht vermocht hat, meinerseits der Richtigkeitsbeweis in soweit geführt wurde, dass die Nothwendigkeit mehrerer Reize zum Auftreten der Anfangszuckung dargethan wurde, so folgt doch noch nicht unmittelbar daraus, dass dieselbe als Tetanus betrachtet

werden müsse. Für den althergebrachten Begriff des Tetanus ist das wesentliche nicht sowohl die Vielheit der Reize, als vielmehr die Verschmelzung einzelner Zuckungsacte, und für diesen Fall ist die Voraussetzung, dass der einzelne Reiz über der Reizschwelle liege, nicht zu umgehen. Wenn aber bei der Anfangszuckung der einzelne Reiz der Reizreihe unter dem Schwellenwerth liegt, können Versuche mit Reizen über der Reizschwelle nur *cum grano salis* zum Vergleich herangezogen werden. Denn in letzterem Falle kommen stets Veränderungen zur Beobachtung, zu welchen alle Theile des Nervmuskelpreparates beigetragen haben, im ersteren muss dagegen erwogen werden, ob sich nicht an Orten, die zunächst mit der Contraction noch gar nichts zu thun haben, beispielsweise zwischen den Electroden, oder in den Nervenendigungen Vorgänge abspielen, welche, obwohl die Contraction von ihnen abhängig ist, doch ihrerseits von den Contractionen unabhängig sein können. Durch die Untersuchungen von J. v. Kries und Sewall¹⁾ waren zudem auch schon Andeutungen gegeben, dass die Summierung submaximaler, nahe am Schwellenwerth gelegener Reize in den Intervallen der Anfangszuckung unter Umständen andern Gesetzen folgen kann, als den für die Summierung der Zuckungen geltenden. Obwohl die Bedingungen dieser Versuche mit denen, unter welchen die Anfangszuckung auftritt, noch am ehesten zu vergleichen gewesen wären und obwohl in ihnen schon festgestellt war, dass ein an sich unwirksamer Reiz einen eben wirksamen kräftig unterstützen kann, hat Kronecker in den gegen die Anfangszuckung polemisirenden Arbeiten dieselben gar nicht berücksichtigt.

Ich habe bisher auf Kronecker's diesbezügliche Arbeiten nicht geantwortet, weil mir einestheils die Verwandtschaft zwischen Anfangszuckung, Anfangstetanus und derjenigen Erscheinung, die Kronecker mit dem „Zusammenschrumpfen des Tetanus auf eine einzige Ordinate“²⁾ bezeichnet, nicht ganz ausgeschlossen erschien, andererseits aber auch die bis über den Zuckungsgipfel hinausreichende Coincidenz des zeitlichen Verlaufs der gemeinen Zuckung und der Anfangszuckung einen gewichtigen Einwand gegen die Zusammensetzung der Anfangszuckung aus mehreren gewöhnlichen Zuckungen darbot.

1) Ueber die Summierung untermaximaler Reize in Muskeln und Nerven, Du Bois Archiv 1881, S. 66.

2) Du Bois Archiv 1883, S. 326.

Die paradoxe Schwankung nun bietet ein Bindeglied zwischen den fraglichen Erscheinungen. Sie zeigt zunächst und zwar in Uebereinstimmung mit den gleichzeitig beobachteten Verkürzungswerthen, dass der ermüdete Muskel durch den ersten Reiz hochgradige Steigerung seiner Erregbarkeit erfahren kann, und dass diese Steigerung wechselnde Zeit, oft aber mehrere Reize hindurch anhält.

Daraufhin kann aber dem „Zusammenschrumpfen des Tetanus auf eine einzige Ordinate“ auch noch eine andere Deutung gegeben werden, an welche zu denken bisher wohl wenig Grund vorlag. Es schrumpft der Tetanus bei engerem Reizintervall nicht sowohl auf eine einzige Ordinate zusammen, sondern erhebt sich durch Steigerung der Erregbarkeit so zu sagen auf die Dauer einer einzigen Ordinate über die eigentliche niedrige Tetanus-curve. Für diese selbst aber mag der Satz gelten, dass die Ermüdungscurve submaximaler Reize um so steiler abfällt, je enger das Intervall ist. Zieht man die anfängliche Steigerung der Hubhöhen von dem übrigen Verlauf der tetanischen, mit dem akustischen Unterbrecher gezeichneten Curven ab, nur den ihr nachfolgenden Theil derselben berücksichtigend, so bemerkt man allerdings leicht, dass dieser zweite Theil der Curve unter um so niedrigeren Werthen verläuft, je höher die Reizfrequenz ist. Andeutungen dieses Verhaltens gibt die zweite Hälfte der sub Fig. 3 Taf. XI in Du Bois Archiv 1886 gelegentlich einer Untersuchung über die Summation der negativen Schwankungen von mir mitgetheilten, mit dem akustischen Stromunterbrecher erzeugten Tetanuscurven, bei denen ich dahingestellt sein lassen muss, ob die Reize bei den höheren Frequenzen noch maximal waren. Dass es sich bei den Anfangstheilen dieser Curve um Wurfhöhen nicht handelt, lässt sich leicht ersehen, wenn man berücksichtigt, wie sich der Anfangsgipfel immer mehr ausprägt, je höher die Reizfrequenz steigt.

Andererseits nun gewinnt die paradoxe Schwankung Beziehungen zur Anfangszuckung, weil sie zeigt, dass die Steigerung der Erregbarkeit nicht nothwendig durch eine ganze Reizreihe hindurch vorzuhalten braucht, sondern bald, sogar schon nach dem Ablauf des zweiten Reizes wieder erlöschen kann. Die Thatsache, dass das Wachsthum der *c*-Schwankung zunächst bei *a + b + c*-Reizung, später aber nur noch bei *b + c*-

Reizung beobachtet werden kann, lässt sich nicht wohl anders deuten, als so, dass das in der $a + b + c$ -Reihe zunächst über die c -Schwankung reichende Schwankungswachsthum bei den späteren Reizungen nur noch bis zur b -Schwankung reicht. Man müsste allerdings auch daran denken, ob nicht der Abfall der c -Schwankung der Abnahme des Schwankungswerthes gleichzustellen sei, welche eine zweite Schwankung überhaupt erleidet, wenn sie im engen Intervalle der ersten maximalen nachfolgt. Es wäre hierbei zu berücksichtigen, dass in der That sehr oft durch paradoxe Summation Schwankungswerthe erreicht werden, welche man sehr wohl noch als maximal betrachten kann. Aber dann wäre bei fortdauernd gesteigerter Erregbarkeit zu erwarten, dass der c -Antheil der $a + b + c$ -Reizung sich auch innerhalb solcher absoluten Werthe bewege, wie man sie am b -Antheil der $a + b$ -Schwankung des frischen Muskels beobachtet, dessen maximale Einzelschwankung ungefähr die Werthe der beobachteten durch paradoxe Summirung erreichten Schwankung hat. Dies ist aber nicht der Fall. Hat sich die paradoxe Summirung bei $a + b + c$ -Reizung einmal von der c -Schwankung auf die b -Schwankung zurückgezogen, so bleiben die in das Stadium der c -Schwankung fallenden Reste der $a + b + c$ -Schwankung eben so niedrig, wie bei der c -Reizung allein. Der beweisendste, allerdings nur selten zu beobachtende Fall ist der, dass die Werthe der Einzelschwankung so gering sind, dass sie gar nicht mehr zur Beobachtung kommen. Um an einen dieser Fälle anzuschliessen, so wurde in Versuch 69 beobachtet: Intervall a , b 0,003 Secunden, Intervall b , c 0,00325 Secunden.

- 1) Bei Einzelreizung von jedem der Contacte aus: keine Ablenkung.
- 2) Bei Reizung mit den Contacten a u. b zusammen: ebenso.
- 3) " " " " " b u. c " 7 Scalentheile.
- 4) " " " " " a , b u. c " ebenfalls 7 Scalentheile.

Letzterer Ausschlag bestand ungefähr bis zur Mitte der ganzen ihn angehenden Reizungsperiode, schätzungsweise also bis zur zwanzigsten Zuckung, von da ab wurde er, während die Reizung noch über weitere 20 Zuckungen fortgesetzt wurde, kleiner, und endlich Null. Wie die beigegebenen Curven Fig. V zeigen, blieben jedoch die erreichten Verkürzungswerthe zu Ende der Reizung im wesentlichen dieselben, wie zu Anfang. Die $a+b$ -, sowie die $b+c$ -Reizung gingen der $a+b+c$ -Reizung dicht voraus, die Werthe für

Fig. V.

die Einzelzuckungen entsprechen Einzelreizen aus bereits früheren Versuchsstadien desselben Muskels, es liegen zwischen ihnen und den citirten mehrfachen Reizungen noch zwei $a+b$ -, zwei $b+c$ - und eine $a+b+c$ -Reizung, bei welcher letzterer in während der Reizung ein Rückgang von 10 auf 3 Scalentheile eingetreten war. Nach Beendigung der sub Nr. 4 oben angegebenen Ablesung wurden die Polenden der secundären Spirale vertauscht und die $a+b+c$ -Reizung mit demselben Erfolg wiederholt, das Eintreten von Stromschleifen aus dem Reizkreis in's Galvanometer also ausgeschlossen. Die nun nachfolgenden Reizungen von den einzelnen a -, b -, resp. c -Contacts aus illustriren den Ermüdungsgrad des Muskels wohl richtiger, als die sub Nr. 1 oben citirten, da letztere einem weit früheren Versuchsstadium entsprechen. Ich habe die zu diesen gehörigen Zuckungscurven desshalb den beigesetzten Curven noch angeschlossen. Sie sind zum Unterschied von den sub Nr. 1 citirten a -, b -, c -Reizungen mit a' b' c' bezeichnet.

Die Kurven stammen von einem Frosche grösster Art, und wurden mit höchstens zwei Gramm Belastung gezeichnet. Man wird sich bei Betrachtung der Einzelzuckungen, namentlich der a' b' c' -Kurven des Eindrucks nicht erwehren können, dass hier nur wenige Fasern des Muskels gezuckt haben. Man würde dann in dem Verhalten des grössten Theils der Fasern hier ein unmittelbares Analogon zur Anfangszuckung bezüglich des Punctes vor sich haben, dass der

einzelne Reiz der Reihe unter dem Schwellenwerth der Reizung liegt.

Somit lässt sich aus dem Schwankungsverlauf der Schluss ziehen, dass der anfänglich dreiactige Verlauf der Contraktionen der $a+b+c$ -Reizung sich nach und nach und zwar ohne Aenderung der erreichten Contractionswerthe in einen zweiactigen umgewandelt hat. Der erste dieser Acte, dem ersten Reize entsprechend, würde nur in einer Aenderung der Erregbarkeit be-

stehen, die den zweiten, an sich unwirksamen Reiz über die Reizschwelle emporhebt, so dass jetzt die resultirende Zuckungcurve als Doppelzuckung zu betrachten wäre, und zwar — nach Ausweis der gleichen Werthe der $b+c$ - und der $a+b+c$ -Schwankung — als eine solche, bei der die sie zusammensetzenden, den zweiten und dritten Act darstellenden Einzelzuckungen etwa gleich hoch sind, während in den letzten Curven der Reihe die zweite der sie zusammensetzenden Zuckungen in dem Maasse kleiner wird, als die erste wächst. Graphisch also wäre eine Verschiebung des Zuckungsgipfels gegen den Anfang der Curve zu erwarten, ein Versuch, zu dessen Anstellung ich bisher indessen noch nicht die Gelegenheit gehabt habe.

Man übersieht leicht, dass die Reactionsweise des hochgradig ermüdeten Muskels viel Aehnlichkeit mit der Anfangszuckung hat. Wenn sich aber dort schliessen liess, dass die erregbarkeitssteigernde Wirkung des ersten Reizes sich gelegentlich bloss über das Intervall des zweiten Reizes erstrecken konnte, so verliert die Uebereinstimmung des zeitlichen Verlaufs der Anfangszuckung mit der durch einen Inductionsschlag erzeugten die Unerklärlichkeit, die ihr immer anhaften würde, wenn man die Kronecker'sche Erklärung auf sie anwenden wollte. Letztere würde verlangen, dass die Anfangszuckung unter allen Umständen eine um das mehrfache des benutzten Intervalls längere Dauer besitze, als die Zuckung beim Momentanreiz.

Nun bleibt allerdings die Thatsache noch unerklärt, dass die Anfangszuckung eine merklich längere Latenzzeit nicht besitzt. Abgesehen davon, dass wirkliche, als solche deutlich zu erkennende Latenzverlängerungen, wenngleich nur selten, in der Anfangszuckung und ihren Verwandten vorkommen, wofür noch der mit 480 Reizen pro Secunde erhaltene Anfangstetanus der Curve Nr. 6 (Fig. IV) ein Beispiel geben mag, und abgesehen davon, dass eine, wenngleich geringfügige Latenz in solchen Anfangszuckungen versteckt sein mag, wie sie in Curve Nr. 2 gezeichnet sind, so braucht eine solche ausserdem nicht mit Nothwendigkeit erwartet zu werden. Denn der Beginn der Reizung fällt bei der angewendeten Reizmethode nicht nothwendig mit dem Anfang sei es des Schliessungs, sei es des Oeffnungsinductionsschlages zusammen, sondern wird meistens bald dem Anfang, bald dem Ende näher; in den mittleren Theil desselben fallen. Betrachtet man diesen Bruchtheil des ersten Inductionsschlages als das erregbarkeits-

erhöhende Moment, so würden schon bei 220 Reizen die zu erwartenden Latenzen im allgemeinen unter einem Werthe von $\frac{1}{300}$ Secunde liegen, und dies ausserdem bei jeder merklich höheren Reizfrequenz jedesmal der Fall sein.

Nach den Angaben Bernsteins¹⁾ aber beträgt die Erregungszeit in den Nervenendorganen selbst $\frac{1}{312}$ Secunde und Erregungen von weniger als 0,003 Secunden Intervall müssten dort einander treffen. Es wäre nicht undenkbar, dass die Wirkung des ersten Reizes darin besteht, dass die von ihm gesetzte Erregung in den Nervenendorganen eine Art Bahnung vollzieht, zu Folge deren die zweite Erregung, nachdem die Bahnung einmal geschehen, durch die Nervenendigung unverzüglich hindurchtreten kann, ohne sich in ihr zu erschöpfen, und man könnte zur Stütze dieser Auffassung vielleicht die merkliche Verfrühung anführen, mit welcher die zweite Schwankung ihren Gipfel erreicht, wenn die Reizintervalle erst einmal so gross geworden sind, dass dieselbe wieder einen selbständigen Gipfel besitzt. Ich will indessen auf diese Erklärung ein besonderes Gewicht nicht legen, da die Voraussetzung, von der sie ausgeht, bis jetzt noch nicht bewiesen ist. Sie würde fordern, dass im Nerven Erregungen ablaufen können, ohne bis in den Muskel vorzudringen.

Für die Anfangszuckung und die ihr verwandten Erscheinungen würde sich demnach folgende Reihe aufstellen lassen:

a) Die Reize liegen unter der Reizschwelle.

1) Die durch den ersten Reiz bewirkte Steigerung der Erregbarkeit dauert nur bis zum Eintritt des nächsten Reizes: Die resultirende Contraction ist dann, obwohl durch zwei Reize entstanden, nur als einfache Zuckung zu betrachten: reine Anfangszuckung.

2) Die Erregbarkeitssteigerung überdauert eine Reihe von Reizen: Anfangstetani.

b) Die Reize liegen über der Reizschwelle, sind aber submaximal: Die Steigerung der Erregbarkeit überdauert mehrere Reize. Die Contraction des Muskels ist tetanisch, die Curve steigt zu Anfang schneller an, als es den von Bohr entwickelten Regeln entspricht, um ebenfalls schnell auf einen niederen Werth zu

1) J. Bernstein, Die Erregungszeit der Nervenendorgane in den Muskeln. Du Bois Archiv 1882, S. 329.

sinken. Der Muskel behält diesen niederen Contractionsgrad länger bei; Kroneckers „Zusammenschrumpfen des Tetanus auf eine einzige Ordinate“.

c) Die Reize sind maximal, aber das Nervenmuskelpräparat ist in dem Zustand hochgradiger Ermüdung, eventuell am Absterben.

1) Der Einzelreiz ergibt noch schwache Zuckungen. Die tetanische Reizung verläuft dann wie sub b.

2) Der Einzelreiz ist nahezu oder ganz unwirksam, und vermag die grosse Mehrzahl der Fasern nicht mehr zu erregen. Die Erregungen und die Contractionen verlaufen im Muskel wie sub a) 1 und a) 2.

Ich lasse nun die Versuchsprotocolle zu den im Text angeführten Versuchen folgen und bemerke zur Orientirung folgendes.

In der ersten Colonne der Tabellen ist unter der Ueberschrift „Stellung der Reizcontacte“ diejenige Stellung des gemeinschaftlichen Contactträgers zu verstehen, bei welcher der Index des letzteren auf den in dieser Rubrik angegebenen Theilstrich der — in hundert Theile eingetheilten — Rheotomscale einstand. Da nicht selten im Laufe des Versuches eine frühere schon benutzte Contacteinstellung wieder aufgesucht wurde, sind die einzelnen Einstellungen zur besseren Uebersicht mit laufenden Nummern versehen; auf diese ist bei der Citirung des Versuches und der einzelnen Schiebereinstellungen im Text verwiesen.

Ausser zu Versuch Nr. 45 gehört zu jedem der Versuche die in der angehängten Curventafel mit der Nummer des Versuchs versehene Curve¹⁾. Ueber die Bedeutung der Curven ist Seite 153 u. f. das nöthige gesagt.

Im Interesse der Darstellung eines möglichst stetigen Curvenverlaufes war es hin und wieder nöthig, die Curven nicht genau durch die Endpunkte der in den einzelnen Schieberstellungen aufgetragenen, den Ausschlägen entsprechenden Ordinaten zu ziehen. Es sind jedoch die Endpunkte der Ordinaten in der Curventafel stets mit eingezeichnet, so dass eine Abweichung des Curvenzuges von dem durch die Ordinate bestimmten Werth sofort in die Augen fällt.

1) Mit Ausnahme der Curve von Versuch Nr. 87, dessen Protocoll bei Abfertigung des Manuscriptes überschlagen wurde. Dasselbe ist Ende dieser Arbeit Seite 194 nachgetragen.

Die den Reizungen unter Benützung nur eines der drei Contacte entsprechenden Ordinatenendpunkte sind mit einem dünneren Punkte, solche, die einer Doppelreizung entsprechen, mit einem kräftiger gezeichneten Punkt, solche endlich, die einer dreifachen Reizung entsprechen, mit einem Kreuzchen bezeichnet, wobei der Durchschnittspunkt der sich kreuzenden Linien den Endpunkt der Ordinate darstellt.

An den meisten Stellen der Curven kann über die Beziehung der Zeichen zu ihren Curven ein Zweifel nicht eintreten; wo solcher entstehen kann, weil die Curve der a -Schwankung sich mit der der b -Schwankung, der $a + b$ -Schwankung u. s. w. kreuzt, ist durch die beigesetzten Buchstaben a , b , c , $a + b$, $a + b + c$ angegeben, dass das Zeichen sich auf die bei Reizung vom a -Contact, beziehentlich b -, oder c -Contact, oder bei Doppel-, resp. dreifacher Reizung erhaltenen Ausschläge bezieht.

Punctirt sind die nach dem Seite 154 angegebenen Princip ergänzten Theile der Curven.

Der Verlauf der Doppelschwankungen, sowie derjenige der bei dreifacher Reizung erhaltenen Schwankungen, ist von dem Punkt an, wo er vom Verlauf der a -Schwankung abweicht, durch eine stärker ausgezogene Linie angedeutet.

Die Rubriken Ablesung und Ausschlag endlich bedürfen keiner besonderen Erklärung.

Versuch Nr. 45.

Reizintervall 0,0025 Sec. Ablenkung durch den Ruhestrom nach den kleinen Zahlen, Abstand der Contacte 1 Grad der Rheotomtheilung. Umlaufzeit 0,25 Sec.

Stellung des Reizcontact-trägers	Reizung vom Contact	Ablesung	Ausschlag	Stellung des Reizcontact-trägers	Reizung vom Contact	Ablesung	Ausschlag
90	a		0—1 Scalentheil, undeutlich.	87.0	b	363	384 21
89.5	a	365 381	16		$a + b$	363	372 9
	b		0		a	357	365 8
88.5	a	361 389	28		b	358	378 20
	b	362 377	15		$a + b$	358	367 9
	$a + b$	361 391	30		a	358	363 5
	a	362 390	28		$a + b$	358	366 8
87.5	a	354 368	14		b	356	374 18
	b	355 383	28		$a + b$	354	362 8
	$a + b$	356 370	14		a	355	360 5
87.0	a	358 370	12		b	354	369 15
	b	358 378	20		$a + b$	354	361 7
	$a + b$	360 371	11		a	355	358 3
	a	360 369	9		b	355	367 12

Versuch Nr. 75.

Boussolableitung von Contact *a* aus 77.0—78.0,
von Contact *b* aus 77.975—78.975.

Ableitungsdauer = 1 Rheotomgrad = 0,002 Sec.

Intervall = 0,975 Rheotomgrad = 0,00195 Sec.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag
1)	77.0	<i>b</i>	591	593	2	5)	75.0	<i>b</i>	598	618	20
		<i>a</i>	593	610	17			<i>a</i>	600	608	8
		<i>a+b</i>	594	610	16			<i>a+b</i>	600	611	11
2)	76.5	<i>b</i>	595	601	6	6)	74.5	<i>b</i>	600	614	14
		<i>a</i>	595	618	23			<i>a</i>	600	609	9
		<i>a+b</i>	596	620	24			<i>a+b</i>	601	610	9
3)	76.0	<i>b</i>	596	609	13	7)	74.0	<i>b</i>	600	610	10
		<i>a</i>	597	615	18			<i>a</i>	601	608	7
		<i>a+b</i>	598	620	22			<i>a+b</i>	602	609	7
4)	75.5	<i>b</i>	598	615	17						
		<i>a</i>	599	611	12						
		<i>a+b</i>	598	615	17						

Hierzu Schwankungscurve Nr. 1 der beigegebenen Curventafel.

Versuch Nr. 76.

Die Versuchsconstanten wie bei Versuch Nr. 75.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag
1)	77.0	<i>b</i>	561	564	3	7)	74.0	<i>b</i>	560	579	19
		<i>a</i>	561	573	12			<i>a</i>	559	573	14
		<i>a+b</i>	561	573	12			<i>a+b</i>	560	576	16
2)	76.5	<i>b</i>	560	565,5	5,5	8)	73.5	<i>b</i>	559	575	16
		<i>a</i>	560	576	16			<i>a</i>	560	570	10
		<i>a+b</i>	558	575	17			<i>a+b</i>	560	571	11
3)	76.0	<i>b</i>	557	566	9	9)	73.0	<i>b</i>	560	563	3
		<i>a</i>	556	576	20			<i>a</i>	560	564	4
		<i>a+b</i>	556	576	20			<i>a+b</i>	560	571	11!
4)	75.5	<i>b</i>	555	569	14	Kurze Pause.					
		<i>a</i>	556	574	18						
		<i>a+b</i>	556	577	21						
5)	75.0	<i>b</i>	556	574	18	10)	76.0	<i>b</i>	563	563	0
		<i>a</i>	559	578	19			<i>a</i>	563	565	2
		<i>a+b</i>	560	580	20			<i>a+b</i>	563	569	6!
6)	74.5	<i>b</i>	560	579	19	11)	75.0	<i>b</i>	564	566	2
		<i>a</i>	561	577	16			<i>a</i>	564	567	3
		<i>a+b</i>	562	581	19			<i>a+b</i>	565	574	9!

Von der Reizcontacteinstellung 73.0 an können die erhaltenen Ausschläge zur graphischen Darstellung nicht mehr verwendet werden, da hier die auf Seite 158 beschriebenen Erregbarkeitsveränderungen eintreten. Hierzu Curve Nr. 2.

Versuch Nr. 78.

Die Constanten wie bei Versuch Nr. 75.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag
1)	77.0	<i>b</i>	763	766	3	5)	75.0	<i>b</i>	764	792	28
		<i>a</i>	762	791	29			<i>a</i>	764	785	21
		<i>a</i>	760	789	29			<i>a+b</i>	764	790	26
		<i>a+b</i>	761	792	31	6)	74.0	<i>b</i>	765	785	20
2)	76.5	<i>b</i>	762	773	11			<i>a</i>	765	784	19
		<i>a</i>	762	798	36			<i>a+b</i>	765	786	21
		<i>a+b</i>	764	805	41	7)	73.0	<i>b</i>	763	782	19
3)	76.0	<i>b</i>	760	783	23			<i>a</i>	763	778	15
		<i>a</i>	760	792	32			<i>a+b</i>	765	781	16
		<i>a+b</i>	760	801	41	8)	72.0	<i>b</i>	764	779	15
4)	75.5	<i>b</i>	760	792	32			<i>a</i>	765	777	12
		<i>a</i>	762	787	25			<i>a+b</i>	765	778	13
		<i>a+b</i>	764	799	35						

Hierzu Curve Nr. 3.

Versuch Nr. 79.

Intervall = 2 Rheotomgrad = 0,004 Sec.

Die übrigen Constanten wie sonst.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag
1)	76.5	<i>b</i>	775	805	30	Der Rest des Versuches lautet wie folgt:					
2)	77.0	<i>b</i>	775	787	12	7)	77.0	<i>b</i>	786	792	6
		<i>a</i>	775	785	10			<i>a</i>	789	794	5
		<i>a+b</i>	775	791	16			<i>a+b</i>	792	804	12!
3)	76.0	<i>b</i>	775	807	32	8)	76.5	<i>b</i>	794	802	8
		<i>a</i>	778	790	12			<i>a</i>	794	796	2
		<i>a+b</i>	776	800	24			<i>a+b</i>	796	810	14!
4)	75.0	<i>b</i>	778	792	14	Pause.					
		<i>a</i>	778	787	9	9)		<i>b</i>	800	802	2
		<i>a+b</i>	779	790	11			<i>a</i>	801	802	1
5)	74.0	<i>b</i>	780	790	10			<i>a+b</i>	801	816	15!
		<i>a</i>	781	789	8	10)		<i>b</i>	802	804	2
		<i>a+b</i>	783	792	9			<i>a</i>	803	805	2
6)	73.0	<i>b</i>	784	792	8			<i>a+b</i>	804	812	13!
		<i>a</i>	785	790	5	11)		<i>b</i>	812	813	1
		<i>a+b</i>	786	795	9			<i>a</i>	815	816	1
								<i>a+b</i>	815	822	7!
Hierzu Curve Nr. 4. Die Ablesung <i>a</i> der Reizcontacteinstellung 77.0 ist bei der Ausführung des Curvenzuges											

Hierzu Curve Nr. 4. Die Ablesung *a* der Reizcontacteinstellung 77.0 ist bei der Ausführung des Curvenzuges nicht mit benutzt worden.

Vergleiche Seite 158.

Versuch Nr. 80.

Die Constanten wie bei Versuch Nr. 79.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag
1)	77.0	b	671	678	7
		a+b	670	686	16
		a	672	685	13
2)	76.0	b	672	699	27
		a+b	673	698	25
		a	676	687	11
3)	75.0	b	677	691	14
		a+b	676	691	15
		a	677	687	10
4)	74.0	b	678	689	11
		a+b	678	690	12
		a	679	686	7
5)	72.0	b	680	687	7
		a+b	680	688	8
		a	683	689	6

Hierzu Curve Nr. 5.

Versuch Nr. 81.

Intervall 0,002 Sec.

Ableitungsdauer 0,0025 Sec.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag
1)	77.5	b	700	701	1
		a	701	726	25
		a+b	702	727	25
2)	77.0	b	703	710	7
		a	704	735	31
		a+b	705	737	32
3)	76.5	b	705	727	22
		a	707	727	20
		a+b	707	731	24
4)	76.0	b	707	736	29
		a	708	720	12
		a+b	710	730	20
5)	75.0	b	713	731	18
		a	714	719	5
		a+b	715	725	10
6)	74.0	b	717	721	4
		a	717	719	2
		a+b	717	721	4

Hierzu Curve Nr. 6.

Versuch Nr. 82.

Die Constanten wie die des Versuches

Nr. 81.

Die Boussole war sehr empfindlich gemacht.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag
1)	76.5	b	325	361	36
		a	325	398	73
		a+b	332	403	71
2)	75.5	b	335	408	73
		a	345	396	51
		a+b	345	406	61
3)	74.5	b	345	404	59
		a	355	404	49
		a+b	355	408	53
4)	73.5	b	360	407	47
		a	367	409	42
		a+b	373	419	46
5)	71.0	b	369	405	36
		a	373	412	39
		a+b	379	416	37

Hierzu Curve Nr. 7.

Versuch Nr. 84.

Die Constanten wie bei Versuch 81.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag
1)	77.0	b	381	385	4
		a	380	410	30
		a+b	382	413	31
2)	76.5	b	382	393	11
		a	384	417	33
		a+b	385	422	37
3)	76.0	b	390	414	24
		a	393	424	31
		a+b	395	427	32
4)	75.0	b	393	422	29
		a	394	412	18
		a+b	395	418	23
5)	74.0	b	398	418	20
		a	400	411	11
		a	402	412	10
		a+b	401	417	16

Hierzu Curve Nr. 8.

Versuch Nr. 85. Die Versuchsconstanten wie bei Versuch 81.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag
1)	77.0	b	409	411	2	Fortsetzung:					
		a	410	443	33						
		a+b	410	445	35	6)	76.5	b	429	434	5
2)	76.5	b	415	432	17			a	429	440	11
		a	417	445	28			a+b	428	456	28!
		a+b	418	450	32	7)	76.0	b	430	437	7
3)	76.0	b	417	443	26			a	434	438	4
		a	419	435	16			a+b	435	462	27!
		a	420	437	17	8)	77.0	b	450	451	1
		a+b	420	449	29			a	452	464	12
4)	75.0	b	422	437	15			a+b	452	467	15
		a	422	429	7	Aus den nachfolgenden Ablesungen					
		a+b	422	439	17	Nr. 9—14 inclusive ist die Curve Nr. II					
5)	74.0	b	422	431	9	dieses Versuches construiert.					
		a	423	428	5						
		a+b	424	437	13	9)	77.5	a+b	455	460	5

Aus den vorstehenden Messungen ist die Curve I des Versuches Nr. 85 auf der beigegebenen Curventafel construiert. Im weiteren Versuchsverlauf stellen sich (vielleicht schon bei dem Ablesungsturnus Nr. 5 beginnend) die charakteristischen Ermüdungsveränderungen ein. Die nächsten drei Ablesungsreihen konnten daher nicht zur Curvenconstruction verwendet werden.

10)	77.0	"	458	467	9
11)	76.0	"	460	481	21
12)	75.0	"	460	471	11
13)	74.0	"	460	467	7
14)	73.0	"	464	468	4
15)	76.0	"	468	487	19
16)	77.5	"	468	469	1
17)	77.0	"	463	465	2
18)	76.5	"	460	466	6

Versuch Nr. 88. Die Versuchsconstanten wie bei Versuch 81.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag
1)	69.5	b	418	433	15	6)	69.5	b	439	443	4
		a	420	446	26			a+b	440	455	15
		a+b	419	452	33			a	441	448	7
2)	69.0	a	421	445	24			a+b	444	458	14
		b	423	450	27	7)	69.0	b	448	455	7
		a+b	424	451	27			a	448	454	6
3)	68.5	b	425	453	28			a+b	449	460	11
		a	427	442	15	8)	68.5	b	450	454	4
		a+b	428	450	22			a	450	452	2
4)	67.5	b	431	444	13			a+b	450	458	8
		a	431	439	8	9)	67.5	b			1
		a+b	432	443	11			a			0,75
5)	66.0	b	434	442	8			a+b			2
		a	435	441	6	Die Messungen Nr. 6 bis 9 sind					
		a+b	436	444	8	verwendet zur Construction der					
						Curve II dieses Versuches.					

Hierzu Curve I dieses Versuches gehörig.

Versuch Nr. 90.

Versuch am blutdurchströmten Muskel mit dreifacher Reizung.
Boussolableitung vom Contact *a* 73.8—72.75, vom Contact *b* 72.55—71.5,
vom Contact *c* 71.1—71.0. Boussolschluss 1,05°, Intervall *a b* 1,25°, *a c* 2,7°.
1° = 0,002 Sekunden.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung	Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung	Ausschlag
1)	72.0	<i>a</i>	631 633	2	8)	68.5	<i>c</i>	636 648	12
		<i>b</i>		0			<i>a</i>	636 637,5	1,5
2)	71.5	<i>a</i>	631 640	9			<i>b</i>	636 639	3
		<i>b</i>		0,5			<i>a + b</i>	636 639	3
		<i>a + b</i>	631 639	8			<i>a + b + c</i>	636 642	6
3)	71.0	<i>a</i>	632 644	12			<i>a + b</i>	636 639	3
		<i>b</i>	632 633	1			<i>c</i>	635 647	12
		<i>a + b</i>	633 646	13	9)	68.0	<i>a</i>	636 637	1
4)	70.5	<i>a</i>	632 641	9			<i>b</i>	637 639,5	2,5
		<i>b</i>	635 640	5			<i>a + b</i>	637 639,5	2,5
		<i>a + b</i>	635 645	10			<i>c</i>	637 647	10
		<i>c</i>		0,5			<i>a + b + c</i>	637 643	6
5)	70.0	<i>a</i>	636 640	4			<i>a + b</i>	637 640	3
		<i>a + c</i>	636 640	4			<i>c</i>	635 645	10
		<i>b</i>	636 649	13			<i>a + b + c</i>	636 642	6
		<i>a + b</i>	635 642	7	10)	67.5	<i>a</i>	637 637,5	0,5
		<i>b</i>	635 647	12			<i>b</i>	637 639	2
		<i>c</i>		0			<i>a + b</i>	637 640	3
6)	69.5	<i>a</i>	634 637	3			<i>c</i>	637 645	8
		<i>b</i>	636 648	12			<i>a + b + c</i>	637,5 643	5,5
		<i>a + b</i>	636 642,5	6,5			<i>a + b</i>	638 641	3
		<i>c</i>	636 638	2			<i>c</i>	638 646,5	8,5
		<i>a + b + c</i>	635 642	7	11)	67.0	<i>a + b</i>	638 640	2
7)	69.0	<i>a</i>	635 637,5	2,5			<i>a + b + c</i>	638 642	4
		<i>b</i>	636 641	5			<i>a + b</i>	638 641	3
		<i>a + b</i>	636 640	4			<i>c</i>	638 643	5
		<i>c</i>	636 644	8		68,5	<i>c</i>	637 645	8
		<i>a + b + c</i>	636 642,5	6,5					
		<i>a + b</i>	637 641,5	4,5					
		<i>c</i>	637 644	7					

Versuch Nr. 92.

Versuch mit dreifacher Reizung am blutdurchströmten Muskel.
Boussolschluss von Contact *a* 76.05—75.1 = 0,95°, von Contact *b* 73.85—72.95
= 0,9°, von Contact *c* 71.75—70.70 = 0,95°. Intervall *a b* = 2,2°, *a c* = 4,3°.
1° der Theilung = 0,002 Sekunden.

Der Ruhestrom lenkt nach den grossen Zahlen ab.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung	Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung	Ausschlag
1)	73.5	<i>a</i>	133 133	0	5)	70.5	<i>a</i>	128 128	0
2)	73.0	<i>a</i>	130 122	8			<i>b</i>	128 118	10
3)	72.5	<i>a</i>	130 118	12			<i>a + b</i>	129 126	3
4)	71.5	<i>a</i>	128 121	7			<i>a</i>	129 129	0

Versuch Nr. 92 (Fortsetzung).

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag
6)	70.0	<i>a</i>	129	129	0	8)	68.0	<i>c</i>	135	124	11
		<i>b</i>	130	117	13			<i>a + b + c</i>	135	129	6
		<i>a + b</i>	130	126	4			<i>a + b</i>	135	132	3
7)	69.5	<i>a</i>	130	129	1	9)	67.0	<i>c</i>	136	132	4
		<i>c</i>	132	129	3			<i>a + b + c</i>	136	130	6
		<i>b</i>	133	129	4			<i>c</i>	136	131,5	4,5
		<i>a + b</i>	133	128	5			<i>a + b</i>	136	134,5	1,5
		<i>a + b + c</i>	134	129	5	10)	66.0	<i>a + b + c</i>	131	127	4
								<i>c</i>	131	131	0

Versuch Nr. 93.

Versuch mit dreifacher Reizung am blutdurchströmten Muskel.

Boussolschluss von Contact *a* $76.6 - 75.65 = 0,95^\circ$, von Contact *b* $74.15 - 73.15 = 1^\circ$, von Contact *c* $72.0 - 71.05 = 0,95^\circ$. $1^\circ = 0,002$ Sec. Intervalle *a b* $2,45^\circ$, *a c* $4,6^\circ$. Ablenkung durch den Ruhestrom nach den grossen Zahlen.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag
1)	74.0	<i>a</i>	82	78	4	12)	68.5	<i>b</i>			0
2)	73.5	<i>a</i>	82	68	14			<i>c</i>	90	69	21
3)	73.0	<i>a</i>	78	55	23			<i>b + c</i>	91	84	7
4)	72.5	<i>a</i>	76	54	22			<i>a</i>			0
5)	72.0	<i>b</i>			0			<i>a + b + c</i>	93	85	8
		<i>a</i>	77	64	13	13)	68.0	<i>c</i>	94	75	19
6)	71.5	<i>a</i>	74	67	7			<i>b + c</i>	96	92	4
		<i>b</i>	72	65	7			<i>a + b + c</i>	98	92	6
		<i>a + b</i>	72	62	10			<i>b + c</i>	99	95	4
7)	71.0	<i>a</i>	69	65	4	14)	67.5	<i>c</i>	102	89	13
		<i>b</i>	69	48	21			<i>b + c</i>	104	103	1
		<i>a + b</i>	68	59	9			<i>b</i>			0
8)	70.5	<i>a</i>	67	66	1			<i>a + c</i>	104	96	8
		<i>b</i>	67	41	26			<i>a + b + c</i>	103	96	7
		<i>a + b</i>	69	60	9	15)	67.0	<i>c</i>	100	93	7
9)	70.0	<i>a</i>			0			<i>a + c</i>	98	95	3
		<i>b</i>	70	54	16			<i>a + b + c</i>	97	93	4
		<i>a + b</i>	70	63	7	16)	66.5	<i>c</i>	101	99	2
		<i>c</i>			0			<i>b + c</i>			0
10)	69.5	<i>b</i>	82	79	3			<i>a + b + c</i>	102	97	5
		<i>a + b</i>	83	81	2			<i>a + c</i>	103	99	4
		<i>c</i>	84	81	3	17)	66.0	<i>c</i>			0
		<i>a + b + c</i>	84	81	3			<i>b + c</i>			0
11)	69.0	<i>b</i>			0			<i>a + c</i>	103	101	2
		<i>c</i>	85	72	13			<i>a + b + c</i>	103	101	2
		<i>b + c</i>	86	79	7			<i>c</i>			0,5
		<i>a + b + c</i>	87	81	6						

Versuch Nr. 93 (Fortsetzung).

Nach einer nicht systematischen Reihe von Ablesungen werden die Reizintervalle geändert. Intervall a b von jetzt ab $3,8^0$, a c $7,6^0$.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag
18)	77.5	a	99	98	1	29)	69.0	c	84	78	6
19)	77.0	a	92	84	8			$b+c$	83	81,5	1,5
20)	76.5	a	93	84	9			$a+c$	83	78,5	4,5
21)	75.5	a	94	94	0			$a+b+c$	83	81,5	1,5
22)	76.0	a	92	87	5	30)	69.5	$a+b+c$	83	82	1
23)	73.5	b	98	96	2	31)	68.5	c	83	77	6
		$a+b$	98	97	1			$b+c$	83	81	2
24)	73.0	b	100	94	6			$a+c$	84	80	4
		$a+b$	100	98	2			$a+b+c$	85	81	4
25)	72.5	b	99	91	8			c	84	79	5
		$a+b$	99	95	4	32)	68.0	c	84	80	4
26)	72.0	b	99	92	7			$a+c$	85	83	2
		$a+b$	97	95	2			$b+c$	86	86	0
27)	71.5	b	96	96	0			c	89	85	4
		$a+b$	95	95	0			$a+b+c$	88	86	2
28)	69.5	c	85	84	1	33)	67.5	c			0
		$b+c$	85	84	1			$b+c$			0
								$a+b+c$			0

Zu den Ablesungsreihen Nr. 1—17 gehört Curve I, zu den Serien 18—33 Curve II dieses Versuches.

Versuch Nr. 94.

Die Intervalle wie bei Versuch Nr. 93, Ablesungen Nr. 18 bis 33. Blutdurchströmter Muskel.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag
1)	77.0	a	45	53	8	10)	72.0	a	50	62	12
2)	76.5	a	38	54	16			b	50	72	22
3)	76.0	a	40	62	22			$a+b$	47	63	16
4)	75.5	a	35	61	26	11)	71.5	a	45	57	12
5)	75.0	a	36	61	25			b	47	70	23
6)	74.5	a	36	54	18			$a+b$	47	61	14
		b			0	12)	71.0	a	47	58	11
7)	73.5	a	20	33	13			b	55	79	24
		b	56	61	5			$a+b$	54	68	14
		$a+b$	56	63	7	13)	70.5	a	42	51	9
8)	73.0	a	55	68	13			b	34	54	20
		b	55	67	12			$a+b$	40	52	12
		$a+b$	54	72	18	14)	70.0	a	47	55	8
9)	72.5	a	55	68	13			b	45	62	7
		b	55	72	17			$a+b$	49	60	11
		$a+b$	53	68	15						

Versuch Nr. 94 (Fortsetzung).

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung	Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung	Ausschlag
15)	69.5	<i>a</i>	55 63	8	20)	67.0	<i>c</i>	57 70	13
		<i>b</i>	56 69	13			<i>a+b+c</i>	57 65	8
		<i>a+b</i>	58 68	10			<i>a+b</i>	57 63	6
		<i>c</i>	58 61	3			<i>a</i>	56 58	2
		<i>a+b+c</i>	58 68	10			<i>b</i>	55 59	4
16)	69.0	<i>a</i>	57 63	6			<i>c</i>	55 67	12
		<i>b</i>	58 68	10			<i>a+b+c</i>	53 60	7
		<i>a+b</i>	59 67	8			<i>a+b</i>	54 59	5
		<i>c</i>	60 68	8	21)	66.5	<i>c</i>	50 61	11
		<i>a+b+c</i>	60 69	9			<i>a+b+c</i>	50 56	6
17)	68.5	<i>a</i>	57 63	6			<i>a+b</i>	50 55	5
		<i>b</i>	57 66	9			<i>a</i>	50 53	3
		<i>a+b</i>	58 65	7			<i>b</i>	50 54	4
		<i>c</i>	59 69	10	22)	66.0	<i>c</i>	47 55	8
		<i>a+b+c</i>	58 68	10			<i>a+b+c</i>	47 52	5
18)	68.0	<i>a</i>	61 66	5			<i>a+b</i>	47 51	4
		<i>b</i>	61 68	7			<i>b</i>	43 47	4
		<i>c</i>	60 72	12			<i>a</i>	43 46	3
		<i>a+b+c</i>	61 70	9	23)	65.0	<i>c</i>	45 50	5
19)	67.5	<i>a</i>	62 78	16			<i>a+b+c</i>	45 49	4
		<i>a+b+c</i>	61 69	8			<i>a+b</i>	44 48	4
		<i>a+b</i>	60 65	5	24)	64.0	<i>c</i>	47 51	4
							<i>a+b+c</i>	46 49,5	3,5

Versuch Nr. 95.

Boussolschluss a 79.9—81.3, b 73.5—74.9, c 68.6—70.0 = $1,4^0 = 0,0028$ Sec.

Intervalle $a b = 6,4^0 = 0,0128$ Sec., $a c = 11,3^0 = 0,226$ Sec.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung	Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung	Ausschlag
1)	67.0	<i>c</i>	20 33	13	6)	64.5	<i>c</i>	20 52	32
		<i>a</i>	20 33	13			<i>a</i>	26 31	5
		<i>a+c</i>	20 45	25			<i>a+c</i>	24 48	24
2)	66.5	<i>c</i>	21 41	20	7)	64.0	<i>c</i>	22 43	21
		<i>a</i>	21 34	13			<i>a+c</i>	23 44	21
		<i>a+c</i>	22 54	32	8)	63.5	<i>c</i>	23 38	15
3)	66.0	<i>c</i>	21 48	27			<i>a+c</i>	24 42	18
		<i>a</i>	22 34	12			<i>a</i>	25 32	7
		<i>a+c</i>	22 59	37	9)	63.0	<i>c</i>	28 37	9
4)	65.5	<i>c</i>	24 54	30			<i>a+c</i>	25 40	15
		<i>a+c</i>	25 62	37	10)	62.0	<i>c</i>	25 32	7
5)	65.0	<i>c</i>	26 57	31			<i>a+c</i>	25 35	10
		<i>a</i>	27 38	11			<i>a</i>	26 31	5
		<i>a+c</i>	28 60	32					

Nach den Ergebnissen der Messungen Nr. 1—10 ist Curve I dieses Versuches construirt. Die auf die Strecke $78,0^0$ — $67,0^0$ des Rheotoms entfallenden Werthe der a -Schwankung sind nach den correspondirenden Messungen der c -Schwankung ergänzt.

Versuch Nr. 95 (Fortsetzung).

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ableseung	Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ableseung	Ausschlag
11)	77.5	a	44 52	8	27)	67.5	c	50 52	2
12)	77.0	a	45 57	12			b+c	49 56	7
13)	76.5	a	47 61	14			b	48 50	2
14)	76.0	a	46 61	15			a+b	47 51	4
15)	75.0	a	47 55	8			a+b+c	45 51	6
16)	74.0	a	48 51	3	28)	67.0	c	43 47	4
		b		0			b+c	43 50	7
17)	73.0	b		0			a+b	45 49	4
18)	72.5	b	52 55	3			a+b+c	70 79	9
		a	53 56	3	29)	66.5	a+b	70 74	4
		a+b	53 59	6			c	71 78	7
19)	72.0	b	53 58	5			b+c	72 80	8
		a	54 57	3			a+b	73 76	3
		a+b	53 62	9			a+b+c	74 81	7
20)	71.5	b	53 62	9	30)	66.0	a+b	74 77	3
		a+b	53 65	12			c	75 82	7
		a	54 57	13			a+b+c	78 86	8
21)	71.0	b	53 64	11	31)	65.5	c	101 106	5
		a+b	53 65	12			a+b	101 104	3
		a	54 57	3			a+b+c	102 109	7
22)	70.5	b	54 68	14	32)	64.5	c	102 104	2
		a+b	56 59	13			a+b	101 103	2
23)	70.0	b	58 68	10			a+b+c	101 105	4
		a+b	59 69	10	33)	63.5	c	100 101	1
		a	60 62	2			a+b	100 102	2
24)	69.5	b	61 66	5			a+b+c	100 100	2
		a+b	61 68	7	<p>Nach den Messungen 11—33 ist die Curve II dieses Versuches construiert. Nach dem Verlauf der a-Schwankung muss angenommen werden, dass in der Angabe des Boussolschlusses a ein Fehler von 1° gemacht ist; das Intervall a b wäre dann statt 6,4° nur 5,4°, und das Intervall a c statt 11,3° nur 10,3°, bez. 0,0108 und 0,0206 Sec.</p>				
25)	69.0	b	62 64	2					
		a+b	61 69	8					
26)	68.0	b	62 64	2					
		a+b	62 67	5					
		c	62 63	1					
		b	62 64	2					
		b+c	63 67	4					
		a+b	64 69	5					
		a+b+c	64 70	6					

Versuch Nr. 96.

Boussolschluss $1,1^{\circ} = 0,0022$ Sec. Die Intervalle wie bei Versuch Nr. 95. Man vergleiche jedoch die Bemerkung am Schluss des vorigen Versuches, welche ebenfalls für diesen Versuch gilt.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ableseung	Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ableseung	Ausschlag
1)	78.0	a	40 45	5	5)	75.0	a	45 60	15
2)	77.5	a	42 56	14	6)	74.0	a	46 49	3
3)	77.0	a	44 65	21			b		0
4)	76.0	a	45 73	28					

Versuch Nr. 96 (Fortsetzung).

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag
7)	73.5	<i>a</i>	45	48	3	23)	63.5	<i>c</i>	98	99	1
		<i>b</i>			0			<i>a + b + c</i>	99	108	9
8)	73.0	<i>a</i>	44	47	3	24)	62.0	<i>a + b</i>	100	103	3
		<i>b</i>	46	47	1			<i>c</i>	104	106	2
9)	72.5	<i>b</i>	46	48	2			<i>a + b + c</i>	106	114	8
10)	72.0	<i>b</i>	49	56	7			<i>b</i>	106	107	1
		<i>a</i>	50	53	3			<i>a</i>	105	106	1
		<i>a + b</i>	50	68	18	Aus den Messungen 1—24 ist die zu diesem Versuch gehörige Curve construiert. Nach beendeter Messung Nr. 24 wurde, um die klein gewordenen Schwankungen wieder in die Höhe zu treiben, dem Muskel 50 gr directe Belastung angehängen. Wegen eines in der Ablesung Nr. 30 vermuthlich gemachten Ablesungsfehlers habe ich jedoch aus diesen Messungen eine Curve nicht construiert. Die Versuche werden jedoch hier noch citirt, weil auch aus ihnen die Verfrühung des Schwankungsgipfels zu ersehen ist.					
11)	71.5	<i>b</i>	51	68	17						
		<i>a + b</i>	52	81	29						
12)	71.0	<i>b</i>	53	75	22						
		<i>a</i>	56	59	3						
		<i>a + b</i>	55	85	30						
13)	70.5	<i>b</i>	58	79	21						
		<i>a + b</i>	57	82	25						
		<i>a + b</i>	60	84	24						
		<i>a + b</i>	61	84	23						
Von einer <i>a + b</i> -Reizung zur anderen Polwechsel in der secundären Spirale.											
14)	70.0	<i>b</i>	63	79	16						
		<i>a + b</i>	64	79	15						
15)	69.0	<i>b</i>	64	67	3						
		<i>a + b</i>	65	75	10						
		<i>a</i>	65	68	3						
16)	68.0	<i>b</i>	67	69	2						
		<i>a + b</i>	68	76	8						
		<i>c</i>	69	72	3						
		<i>a + b + c</i>	70	81	11						
17)	67.5	<i>c</i>	73	81	8						
		<i>a + b</i>	71	78	7						
		<i>a + b + c</i>	71	84	13						
		<i>b</i>	70	72	2						
18)	67.0	<i>c</i>	69	83	14						
		<i>a + b</i>	68	73	5						
		<i>a + b + c</i>	68	82	14						
		<i>a</i>	68	70	2						
		<i>b</i>	68	70	2						
19)	66.5	<i>c</i>	66	83	17						
		<i>a + b</i>	66	71	5						
		<i>a + b + c</i>	66	83	17						
		<i>b + c</i>	67	82	5						
20)	65.5	<i>c</i>	69	84	15						
		<i>a + b + c</i>	69	82	13						
		<i>a + c</i>	70	82	12						
21)	64.5	<i>c</i>	97	105	8						
		<i>a + b + c</i>	68	76	8						
		<i>a + b</i>	69	73	4						
		<i>b</i>	69	70	1						
		<i>a</i>	70	71	1						
22)	64.0	<i>c</i>	96	97	1						

Versuch Nr. 97.

Reizung am blutdurchströmten Muskel. Intervalle wie beim vorigen Versuch. Bei der Reizung Nr. 13 fing der Muskel stark an zu bluten, und es wurde deshalb der Versuch nicht bis zur dreifachen Reizung fortgesetzt, sondern vorher abgebrochen.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag
1)	77.0	<i>a</i>	30	39	9	9)	70.0	<i>b</i>	37	58	21
2)	76.5	<i>a</i>	30	48	18			<i>a + b</i>	30	48	18
3)	76.0	<i>a</i>	31	53	22			<i>a</i>	34	48	14
4)	75.0	<i>a</i>	31	60	29	10)	69.0	<i>b</i>	36	63	27
5)	74.0	<i>a</i>	30	53	23			<i>a + b</i>	37	52	15
6)	73.0	<i>a</i>	28	47	19	11)	68.0	<i>b</i>	34	59	25
7)	72.0	<i>a</i>	29	46	17			<i>a + b</i>	34	47	13
		<i>b</i>	30	34	4			<i>a</i>	33	46	13
		<i>a + b</i>	33	49	16	12)	67.0	<i>b</i>	35	55	20
8)	71.0	<i>b</i>	30	44	14			<i>a + b</i>	34	45	11
		<i>a</i>	31	47	16			<i>c</i>	35	36	1
		<i>a + b</i>	34	57	23	13)	66.5	<i>b</i>	32	51	19
								<i>a + b</i>	32	42	10

Versuch Nr. 98.

Die Versuchsconstanten wie bei Versuch 95.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag
1)	78.0	<i>a</i>	110	117	7	13)	69.0	<i>b</i>	122	136	14
2)	77.5	<i>a</i>	113	128	15			<i>a + b</i>	122	132	10
3)	77.0	<i>a</i>	112	136	24			<i>a</i>	124	127	3
4)	76.0	<i>a</i>	113	133	20	14)	68.5	<i>c</i>	122	124	2
5)	75.0	<i>a</i>	115	126	11			<i>a + b</i>	120	126	6
6)	74.0	<i>a</i>	116	123	7			<i>a + b + c</i>	120	131	11
7)	73.0	<i>a</i>	118	122	4			<i>b</i>	122	128	6
		<i>b</i>			0	15)	68.0	<i>c</i>	122	129	7
8)	72.5	<i>b</i>	119	122	3			<i>a + b + c</i>	123	135	12
		<i>a</i>	119	122	3	16)	67.5	<i>c</i>	123	130	7
		<i>a + b</i>	119	129	10			<i>a + b + c</i>	122	135	13
9)	72.0	<i>b</i>	121	130	9	17)	66.5	<i>c</i>	123	135	12
		<i>a + b</i>	122	137	15			<i>a + b + c</i>	120	131	11
10)	71.5	<i>b</i>	123	137	14	18)	65.5	<i>c</i>	115	127	12
		<i>a + b</i>	120	142	22			<i>a + b + c</i>	117	127	10
11)	71.0	<i>b</i>	122	145	23	19)	64.5	<i>c</i>	119	130	11
		<i>a + b</i>	123	144	21			<i>a + b + c</i>	120	129	9
		<i>a</i>	123	125,5	2,5			<i>a + b</i>	118	123	5
12)	70.0	<i>b</i>	123	143	20	20)	63.5	<i>c</i>	134	139	5
		<i>a + b</i>	122	139	17			<i>a + b + c</i>	134	140	6
						21)	62.5	<i>c</i>	135	138	3
								<i>a + b + c</i>	136	141	5

Nachtrag zur vorstehenden Arbeit.

(Vgl. die Fussnote S. 181.)

Versuch Nr. 87.

Die Versuchsconstanten wie bei Versuch 81.

	Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag		Stellung der Reizcontacte	Reizung vom Contact	Ablesung		Ausschlag
1)	69.5	<i>b</i>	516	525	9	Der Contactträger wird jetzt so gestellt, dass der Contact <i>c</i> an die Stelle des Contactes <i>b</i> tritt und der Contact <i>a</i> wird von Contact <i>c</i> um $6,8^0 = 0,0136$ Sec. entfernt.					
		<i>a</i>	516	535	19						
		<i>a + b</i>	516	538	22						
2)	68.5	<i>b</i>	517	539	22						
		<i>a</i>	518	528	10						
		<i>a + b</i>	519	538	19						
3)	67.5	<i>b</i>	520	531	11						
		<i>a</i>	521	529	8						
		<i>a + b</i>	521	529	8						
4)	65.0	<i>b</i>	523	529	6						
		<i>a</i>	524	529	5						
		<i>a + b</i>	527	531	4		<i>a + c</i>	533	545	12	
							<i>b</i>			1	
							<i>a</i>			0,25	
							<i>a + c</i>	533	538	5	
Zu 1—4 gehörig die Curve des Versuchs 87.						Der Ausschlag wuchs nachträglich um weitere 7 Scalentheile.					
5)	68.0	<i>b</i>	530	533	3		<i>a + c</i>	533	543	10	
		<i>a</i>	530	531	1		<i>a</i>			0,25	
		<i>a + b</i>	530	533	3		<i>b</i>			1	
6)	67.5	<i>a + b</i>	532	535	3		<i>a + c</i>	532	543	10	
7)	67.0	<i>a + b</i>			0		<i>a + b</i>	532	546	4	
8)	68.5	<i>a + b</i>	533	550	17!		<i>a + c</i>	533	544	11	
9)	69.0	<i>a + b</i>	533	548	15!		<i>a + b</i>	533	539	6	
		<i>a</i>			0,5		<i>a</i>			0,25	
		<i>b</i>			1,5		<i>a + c</i>	532	541	9	
		<i>a + b</i>	533	548	15						
		<i>b</i>			1