

Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven.

Von

H. HELMHOLTZ.

(Der physikalischen Gesellschaft zu Berlin mitgetheilt am 19. Juli 1850.)

(Hierzu Taf. VIII.)

Die erste Abtheilung der vorliegenden Untersuchungen ist ein Theil einer, von mir nach weitläufigerem Plane begonnenen Arbeit. Ed. Weber hat die Gesetze ermittelt, nach welchen die Muskeln im ruhenden und im anhaltend erregten Zustande wirken, und dadurch die Grundlage für die Kenntniss ihrer mechanischen Wirkungen gelegt. Eine der Hauptfragen in diesem Gebiete kann aber nicht durch Untersuchung des continuirlich erregten Muskels erledigt werden, diejenige nämlich nach der mechanischen Arbeit, die er zu leisten vermag. Der andauernd gleichmässig erregte Muskel bringt durch die erschöpfendste Anstrengung keine Arbeit im Sinn der Mechanik hervor, er bewirkt nur, dass die Körpertheile in einer neuen Gleichgewichtslage ruhend verweilen. Um eine Arbeit zu leisten, Bewegungen des eigenen Körpers, oder Veränderungen in der Aussenwelt hervor-

zubringen, muss der Muskel zwischen Ruhe und Erregung wechseln, und die Grösse seiner Arbeit wird wesentlich von der Geschwindigkeit des Wechsels abhängen. Ich habe aus diesem Gesichtspunkte begonnen, die Vorgänge bei der einfachen Zuckung des Muskels zu studiren; unter einer solchen verstehe ich eine Zusammenziehung, welche auf eine Reizung von verschwindend kleiner Dauer erfolgt. Ausserdem wird durch die elektrischen Erscheinungen bestätigt*), dass wahrscheinlich jede scheinbar continuirliche Zusammenziehung des Muskels kein wirklich continuirlicher Zustand sei, sondern auf einem schnellen Wechsel entgegengesetzter Molekularzustände beruhe. Wir dürfen also wohl andauernde Zusammenziehungen als eine Reihe so schnell sich folgender, einfacher Zuckungen betrachten, dass jede vorhergehende beim Eintritt der folgenden noch nicht merklich nachgelassen hat. Bei diesem Verhältniss wäre also die einfache Zuckung der elementare Vorgang, aus welchem sich die anderen zusammensetzen, und deshalb verspricht das Studium desselben, uns den leichtesten Zugang zu den hier vorliegenden Problemen zu eröffnen.

Meine Untersuchung der mechanischen Verhältnisse der einfachen Zuckung löst bisher nur einen Theil der zu stellenden Fragen, und ich würde ihre vollständigere Durchführung erwartet haben, ehe ich sie veröffentlichte, wenn nicht die darin ermittelten Thatsachen den Weg gebahnt hätten, die Frage über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven, welche im zweiten Theil der vorliegenden Abhandlung behandelt wird, zu entscheiden. Da die Resultate dieses letzteren nicht dargestellt werden können, ohne auf das, was ich über die Vorgänge der Zuckung ermittelt hatte, Bezug zu nehmen, und doch ein hinreichend grosses selbständiges Interesse haben, um eine Veröffentlichung auch dieser noch

*) S. E. du Bois-Reymond, Untersuchungen über thier'sche Elektrizität, Bd. II. Absch. 3. Kap. IV. §. 4.

nicht vollendeten Untersuchungen zu rechtfertigen, wählte ich den eingeschlagenen Weg. Eine kurze Andeutung der Methode und der Resultate der Untersuchung über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven ist schon veröffentlicht in den Monatsberichten der Akad. der Wissensch. zu Berlin, 1850, Februarheft, und in den Comptes rendus de l'Acad. d. sc. T. XXX. p. 204.

§. I.

Vorläufige Methode und ihre Resultate.

Die mechanischen Eigenschaften eines Muskels sind, nach den Untersuchungen von Ed. Weber, denen eines elastischen Bandes von veränderlicher Elasticität gleich, und wie bei diesem hängt der Zug, den er auf seine Befestigungspunkte ausübt, oder seine Spannung, von seiner Länge ab. Wenn der Muskel sich im Zustand der Erregung befindet, ist die Spannung bei gleicher Länge eine andere, eine grössere, und demgemäss die Länge, welche demselben Grade der Spannung entspricht, eine kleinere. Ich beabsichtige im Folgenden namentlich zu untersuchen, in welchen Zeiträumen diese Veränderungen nach der Einwirkung eines Reizes von verschwindend kleiner Dauer eintreten und wieder aufhören. Ed. Weber hat den Zustand, in welchen der Muskel durch Reizung versetzt wird, als den „thätigen“ bezeichnet. Da nun die Thätigkeit des Muskels in diesem Zustande nicht nur eine mechanische, sondern auch eine elektrische, thermische, chemische ist, und wir von vorn herein nicht wissen, ob in jedem Falle alle diese verschiedenen Richtungen gleichzeitig vermehrt und vermindert werden, — wollen wir die mechanische Aeusserung der Thätigkeit in dieser Abhandlung mit dem Namen der Energie des Mus-

kels bezeichnen. Der Gegenstand unserer nächsten Untersuchung ist also die Frage:

In welchen Zeiträumen und Stadien steigt und sinkt die Energie des Muskels nach momentaner Reizung?

Die Dauer der Zuckung eines animalischen Muskels ist gewöhnlich nur ein kleiner Bruchtheil einer Sekunde, abgesehen von einer länger dauernden, schwachen Nachwirkung. Da unsere Sinne zur unmittelbaren Wahrnehmung der einzelnen Zeitmomente innerhalb einer so kleinen Dauer nicht fähig sind, müssen wir künstlichere Methoden zu ihrer Beobachtung und Messung anwenden. Von solchen sind namentlich zwei hier zu berücksichtigen. Bei der einen werden durch einen geeigneten Mechanismus die Vorgänge, deren Zwischenzeit man erfahren will, auf einer mit gleichmässiger Geschwindigkeit fortbewegten Fläche notirt. Die Zeitunterschiede erscheinen auf dieser als proportionelle Raumunterschiede wieder und können durch letztere gemessen werden. Davon hat schon Ludwig für physiologische Zwecke Gebrauch gemacht, um die Schwankungen des Blutdruckes in den Arterien und des Luftdruckes in der Brusthöhle darzustellen. Die zweite davon wesentlich verschiedene Methode der Zeitmessung ist die von Pouillet vorgeschlagene.*) Die Zeitdauer wird hier durch die Wirkung bestimmt, welche während derselben eine Kraft von bekannter Intensität hervorgebracht hat. Pouillet lässt einen galvanischen Strom, dessen Anfang und Ende genau dem Anfang und Ende des zu messenden Zeitraums entsprechen, auf einen ruhenden Magnet wirken; dann ist die Grösse des Bogens der Schwingungen, in welche der Magnet versetzt wird, der zu messenden Zeitdauer proportional.

Ich ging an die bezeichnete Untersuchung zunächst mit der ersten Methode. Mittelst eines einfachen Apparats, der

*) Comptes rendus. T. XIX. p. 1384. — Poggendorff's Annalen d. Physik. Bd. LXIV. p. 452.

vorläufig nur dazu dienen sollte, soviel von dem Verlaufe der einfachen Zuckung zu erfahren, als ich brauchte um den definitiven construiren zu können, liess ich in ganz ähnlicher Weise, wie es Ludwig mit den Höhen des Blutdruckmessers that, die Höhe aufzeichnen, bis zu welcher ein an den Muskel gehängtes Gewicht in den aufeinanderfolgenden Zeitpunkten der Zuckung erhoben wird. Die Versuche ergaben, dass eine genügende Vervollkommnung der Methode für die Zwecke der vorliegenden Frage durch die unvermeidliche Reibung der einzelnen Theile des Apparats vereitelt werde. Zugleich boten sich mir aber auch einige neue, den Verlauf der Zuckung betreffende Thatsachen dar, durch deren Kenntniss es möglich wurde, die zweite Methode der Zeitmessung auf die hier vorliegenden Verhältnisse anzuwenden. Da die Schilderung dieser zweiten, vollkommneren Methode ohne die Kenntniss der erwähnten Thatsachen vielleicht grössere Schwierigkeiten darbieten würde, und da die erste Methode einen schnelleren, und durch einfachere Schlussfolgen zu erfassenden Ueberblick über den Verlauf der Zuckung gewährt, so halte ich es für geeignet eine kurze Angabe ihrer Resultate hier herzusetzen, obgleich dieselben nur auf eine verhältnissmässig geringere Genauigkeit Anspruch machen können, als die der zweiten.

An den ausgeschnittenen Wadenmuskel eines Frosches wurde mittelst einiger festen Zwischenstücke ein Gewicht gehängt. Eines dieser Stücke war ein gut polirtes grades Stahlstäbchen¹, welches durch zwei vertikal über einander befindliche Oeffnungen zweier Metallplättchen ging, in denen es keine beträchtliche Reibung erlitt, aber doch verhindert wurde, Seitenschwankungen zu machen. Das Stäbchen trug an einem Querarm eine feine Stahlspitze, die entweder auf einer horizontal fortbewegten, leicht angerussten Glasplatte, oder auf einer rotirenden Cylinderfläche zeichnete. Die Bewegung wurde durch ein sinkendes Gewicht hervorgebracht, und war vielleicht keine streng gleichmässige, sondern eine

leicht beschleunigte; jedenfalls war aber die Beschleunigung derselben innerhalb der hier in Betracht kommenden Zeiträume von $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{3}$ Secunde zu gering, um die Zeichnungen wesentlich zu entstellen. Der zuckende Muskel zeichnete auf diese Weise Curven, deren horizontale Abscissen der Zeit proportional, deren vertikale Ordinaten der Erhebung des Gewichtes gleich waren. Diese Curven hatten im Allgemeinen die Gestalt der in Fig. 4 dargestellten, welche mit Hülfe des Mikroskops nach einer der auf dem berussten Glasplättchen gezeichneten Linien copirt ist. AB ist die Horizontallinie, welche gezeichnet worden wäre, wenn man den Muskel nicht gereizt hätte. An ihr und an der Curve sind durch vertikale Striche die Endpunkte von Abscissen angegeben, deren Abstände einer gleichen Zeitdifferenz im Werth von 0,03 bis 0,04 eine Sekunde entsprechen; die vertikalen Erhebungen sind $6\frac{2}{3}$ mal vergrössert. Den Muskel reizte ein durch ihn hingeleiteter, einzelner Oeffnungsschlag meines im Archiv, Jahrg. 1845, S. 154 beschriebenen Neef'schen Elektromotors, ebenso wie dort durch Einfügung grosser Leitungswiderstände in den Kreis des inducirten Stroms geschwächt. Da der Apparat, wenn die Feder spielte, in der Sekunde 300 solche Oeffnungsschläge und 300 entgegengesetzt gerichtete Schliessungsschläge geben konnte, die Dauer der letzteren aber beträchtlich grösser ist, als die der ersteren, so musste die Dauer eines jeden einzelnen Oeffnungsschlages viel kleiner sein, als $\frac{1}{600}$ Secunde. Ich betrachte also den reizenden Strom im Vergleich zu den Zeiträumen, welche bei der Muskelzuckung in Betracht kommen, als momentan.

Die Curve giebt die Höhen an, bis zu welchen das Gewicht in den durch die Abscisse gemessenen Zeiträumen erhoben war. Diese Höhen sind nicht identisch mit denen, in welchen das Gleichgewicht zwischen der Schwere des Gewichtes und der augenblicklichen Muskelspannung stattfindet. Wir wollen diese letzteren „Höhen des Gleichgewichts“ nennen. Die Trägheit des Gewichtes verhindert,

dass dasselbe unter dem Einfluss der darauf wirkenden Kräfte sogleich seine Gleichgewichtslage einnehme; deshalb muss sich nothwendig die Curve der Erhebungshöhen von der der Höhen des Gleichgewichts mehr oder weniger unterscheiden. Gleich der erste Blick lehrt, dass das Endstück der gezeichneten Curve aus Schwankungen um eine veränderliche Gleichgewichtslage besteht. Ein Gewicht, welches, an einem elastischen Faden von starker elastischer Nachwirkung schwebend, in vertikale Schwankungen gesetzt wäre, würde ganz ähnliche Wellenlinien zeichnen. Aber auch das Anfangsstück der Curve besteht aus abwechselnd concaven und convexen Stellen, die sich allerdings nicht als so regelmässige Wellen zeichnen wie jene. Eine jede nach oben concave Stelle der Curve bezeichnet aber im ansteigenden Theile derselben eine Ansteigung mit beschleunigter, im absteigenden eine Absteigung mit abnehmender Geschwindigkeit. Beide Arten der Bewegung können nur dadurch entstanden sein, dass während derselben die Resultante der wirkenden Kräfte nach oben gerichtet war. Eine jede nach oben convexe Stelle bezeichnet dagegen im ansteigenden Theile eine Ansteigung mit abnehmender, im absteigenden eine Absteigung mit zunehmender Geschwindigkeit, und lässt auf eine nach unten gerichtete Kraft schliessen. In den concaven Stellen war also die Spannung des Muskels grösser, in den convexen kleiner als die Schwere des Gewichts; in jenen muss also die Curve der Gleichgewichtshöhen höher liegen als die gezeichnete Curve, in letzteren tiefer. An denjenigen Punkten aber, wo concave in convexe Stellen übergehn, müssen sich beide Curven schneiden, und die Erhebungshöhen den Höhen des Gleichgewichts gleich sein. Wir lernen auf diese Weise für eine Reihe von Zeitpunkten die Höhen des Gleichgewichts kennen; sie sind in der Figur durch vertikale, punktirte Linien bei a, b, c u. s. w. angegeben. Auch diese Höhen steigen anfangs und sinken dann allmählig nieder. Wir entnehmen daraus die bisher unbe-

kannte Thatsache, dass auch in den animalischen Muskeln, wie es in den organischen nur in sehr viel längern Zeiträumen der Fall ist, die Energie des Muskels nicht im Augenblicke einer instantanen Reizung sich vollständig entwickelt, sondern grösstentheils erst nachdem diese schon aufgehört hat, allmählig ansteigt, ein Maximum erreicht, und wieder verschwindet. Bisher haben wir den Einfluss der Reibung auf die Form der gezeichneten Curve vernachlässigt. Eine solche findet theils im Innern des Muskels, theils zwischen Theilen des Apparats statt. Die Reibung wirkt immer in dem Sinne, dass sie die grade stattfindende Bewegung verlangsamt, also in den ansteigenden Theilen der Curve so wie es eine nach unten, in den absteigenden wie es eine nach oben gerichtete Kraft thun würde, und zwar desto stärker, je grösser die Geschwindigkeit der Bewegung. Aus den regelmässigen Wellenlinien am Ende der Curve erfahren wir, dass die Reibung zu gering war, um die allgemeine Form der Bewegung daselbst merklich zu verändern, und können danach wohl das Gleiche für die übrigen Stellen vermuthen. Ich will aber ausserdem, um unser Hauptresultat zu sichern, den streng zu führenden Beweis hierher setzen, dass die Energie des Muskels, während das Stück bc gezeichnet wurde, grösser gewesen sein muss, als beim Punkte b selbst. Das Stück bc ist nach oben concav, die Geschwindigkeit während desselben ist also eine beschleunigte gewesen, folglich in allen seinen Punkten grösser als die in b, ebenso die mit der Geschwindigkeit steigende und sinkende Reibung. In b, der Uebergangsstelle zwischen einem concaven und convexen Theile muss nach dem oben Gesagten die Spannung des Muskels gleich der Summe der Schwere des Gewichts und der Kraft der Reibung gewesen sein, in den andern concaven Theilen von bc aber grösser als die Summe derselben Schwere, und der wegen vermehrter Geschwindigkeit ebenfalls vermehrten Reibung. Demnach ist die Spannung des Muskels trotz seiner zunehmenden Verkürzung in b kleiner

gewesen, als in den übrigen Theilen von *bc*; daraus folgt, dass auch seine Energie von *b* aus gestiegen ist.

Wird die Reibung bei solchen zeichnenden Versuchen beträchtlicher, so verwischt sich der Wechsel von convexen und concaven Stellen immer mehr. Deshalb ist in den übrigens sehr zarten und genauen Curven, welche ich durch die zeichnende Spitze im Glimmerblättchen einritzen liess, die Concavität *bc* fast in eine grade Linie verwandelt, und von den Oscillationen des Endstücks ist meistens nur noch eine einzige sichtbar. Unter allen zum Zeichnen von mir angewendeten Materialien giebt angerusstes Glas die geringste Reibung; die, welche bei dieser Art des Zeichnens noch stattfindet, scheint hauptsächlich dem Muskel selbst, weniger den Theilen des Apparates anzugehören, und möchte sich deshalb kaum noch wesentlich verändern lassen. Da nun dadurch selbst bei möglichst vollkommener Einrichtung des Apparats eine grössere Genauigkeit der Messungen vereitelt wird, habe ich den bisher verfolgten Weg verlassen, und die gewonnenen Resultate benutzt, mir einen andern zu bahnen, auf welchem wir sie durch genauere Messungen bestätigt finden werden.

§. II.

Die Anwendung der Methode von Pouillet für die Muskelzuckung.

Die Grundlage der Methode von Pouillet zur Messung kleiner Zeiträume besteht darin, dass die Zeit, während welcher ein galvanischer Strom von bekannter Intensität von einem Drathgewinde aus auf einen Magnet gewirkt hat, genau aus dessen veränderter Bewegung berechnet werden kann. Es ist bis jetzt noch keine Grenze der Kleinheit von Zeittheilen abzusehen, deren Messung auf diese Weise nicht

möglich werden sollte, da man die Intensität des wirkenden Stromes und die Grösse seiner Wirkung auf den Magnet durch Vermehrung der elektromotorischen Elemente und der Windungen des Drathgewindes beliebig steigern kann. Eine andere Beschränkung trifft aber den Gebrauch dieses Verfahrens. Man muss es nämlich zu bewirken wissen, dass Anfang und Ende des gedachten Stromes, welchen wir fortan den zeitmessenden nennen wollen, genau mit dem Anfang und Ende des mechanischen Vorgangs zusammenfallen, dessen Dauer gemessen werden soll. In den zu beschreibenden Versuchen, fing der zeitmessende Strom in dem Augenblicke an, wo ein instantaner elektrischer Schlag durch den Muskel oder seinen Nerven ging, und endigte dadurch, dass die Leitung, in welcher er kreiste, durch die Zusammenziehung des Muskels unterbrochen wurde. Gleichzeitig konnte aber die Spannung genau bestimmt werden, welche der Muskel erreichen musste, um die stromleitenden Metalle von einander trennen zu können. Die zu berechnende Dauer des zeitmessenden Stromes ist also identisch mit der Zeit, welche zwischen der Reizung des Muskels oder seines Nerven und dem Augenblicke verfliesst, in welchem seine Spannung eine bestimmte Grösse erreicht hat. Durch eine Reihe solcher Messungen, bei denen man den Muskel verschieden grosse, entgegenstehende Kräfte überwinden lässt, erfährt man, in welchen Zeiträumen sich nach einander die verschiedenen Grade der Energie desselben entwickeln.

Die von mir gebrauchten Vorrichtungen zerfallen in folgende wesentliche Theile:

- 1) diejenigen, welche zur Erregung, Leitung und zur Messung der Wirkung des zeitmessenden Stromes dienen.
- 2) diejenigen, welche einen zweiten Strom erregen und leiten, dessen Bestimmung es ist, den Muskel oder seinen Nerven zu reizen.
- 3) die, vermittelt deren der Muskel den zeitmessenden Strom unterbricht.

Des leichteren Verständnisses wegen beginne ich mit der Beschreibung des letzten Apparates, von welchem ein vollständiger Durchschnitt in Fig. 1, der obere Theil eines darauf rechtwinkligen anderen Durchschnittes in Fig. 2 dargestellt ist. Das Gestell besteht aus zwei quadratischen Brettern A A und B B, welche durch vier hölzerne Säulen verbunden sind. Das untere ruht auf Stellschrauben, das obere trägt die beiden Messingsäulen C D, diese den Querbalken D D, darauf ruhen wieder die Säulchen L, mit dem Querbalken F F, endlich der Hohlcyylinder aabb, dessen oberer, ebener Rand behufs der elektrischen Isolation aus Elfenbein besteht. Die darauf liegende, unten eben abgeschliffene Platte H H ist nicht befestigt, sondern liegt lose auf. Durch ihre Mitte geht die Schraube I, deren unteres Ende in ein stählernes Häkchen ausläuft, an welchem der Muskel hängt. Um den Wadenmuskel des Frosches daran zu befestigen, stiess ich dasselbe in das untere Gelenkstück des Oberschenkelbeins ein, welches Stück vom übrigen Knochen getrennt wurde, dagegen mit dem Muskel, der sich an ihm inserirt, in Verbindung blieb. Durch die Aufhängung mittelst der Schraube ist es möglich, den Muskel nach Bedürfniss höher und tiefer zu stellen, nach rechts oder links zu verschieben, und um seine Axe zu drehen. Derselbe hängt in einem fast vollständig geschlossenen Raume, dessen Luft mit Feuchtigkeit gesättigt werden kann, um das Austrocknen des Präparats zu verhindern. Dieser Raum wird gebildet durch die auf dem Querbalken D D ruhende, mattgeschliffene Glasplatte E E und die darüber befindliche Glasglocke, deren unterer Rand eben geschliffen ist, und deren obere Oeffnung durch zwei halbkreisförmige Messingstückchen G G und den in der Mitte hindurchtretenden Cylinder aabb geschlossen wird; es bleibt also nur die Oeffnung in dem cylindrischen unteren Ansatz c des Querbalkens D D. Die Art des Verschlusses der oberen Oeffnung macht es möglich, die Glocke zu entfernen, und wieder aufzusetzen, ohne die

Lage des Muskels zu verändern. Die Luft in der Glocke wird durch nasse Pappscheiben feucht erhalten, welche man an den Wänden derselben und auf der Glasplatte E E anbringt; es wurde dadurch möglich, den ganz frei liegenden Nerven 3 — 4 Stunden leistungsfähig zu erhalten. Die Zuleitung des Stroms zum Nerven kann durch vier Kupferdrähte geschehen, von denen nur zwei *vv* in Fig. 2 gezeichnet sind. *w* ist der Nerv; die Drähte *vv* sind in Klemmschrauben befestigt. Die Körper der letzteren durchbohren die Glasplatte, und ihre unteren Theile *uu* stehen durch Kupferdrähte in leitender Verbindung mit dem Quecksilber in den vier Näpfchen *t*. Indem man durch beliebige zwei von diesen Näpfchen und die entsprechenden Drähte *v* den zur Reizung des Nerven dienenden Strom einleitet, kann man verschiedene Stellen des Nerven der Wirkung desselben aussetzen. Sollte der Schlag durch den Muskel selbst gehen, so wurde einer der Drähte *v* an sein oberes sehniges Ende gelegt, und statt eines zweiten zwischen der entsprechenden Klemmschraube und dem Häkchen *d*, welches in den Knorpel der Achillessehne eingehakt ist, ein äusserst feines, wie ein Seidenfaden biegsames Silberdrähtchen eingeschaltet, wie es zu Posamentirarbeiten gebraucht wird. Am Muskel hängt eine Schale *K* für Gewichte, vermittelt folgender Zwischenstücke. 1) ein oder zwei stählerne Häkchen *d* und *e*, 2) ein viereckiger stählerner Rahmen *f*, in dessen unteres Querstück ein Elfenbeinplättchen mit konischer Vertiefung eingelegt ist. Diese Vertiefung ist bestimmt zur Aufnahme der oberen Stahlspitze des folgenden Stücks. 3) Das stromleitende Zwischenstück *ghikl*, welches ich unten genauer beschreiben werde. 4) Ein zweiter viereckiger Rahmen *f*„, von derselben Gestalt wie *f*, welcher aber kein isolirendes Elfenbeinplättchen zu tragen braucht. 5) Der stählerne Haken *r*, an welchem endlich vermittelt messingener Ketten die Schale *K* hängt. Das stromführende Zwischenstück nenne ich so, weil es gleichzeitig zur Lei-

tung des zeitmessenden Stromes dient. Seine Zusammensetzung erhellt am besten aus Fig. 2, wo es durch den Muskel von seiner Unterlage abgehoben dargestellt ist. Es besteht aus zwei geraden Stahlstängchen gl , welche durch fünf messingene Querbalken verbunden sind, g, h, i, k und l . Von diesen tragend und l stählerne Spitzen, welche in die konischen Vertiefungen von f , und f'' , eingreifen. In h und k befinden sich kupferne Schrauben mit Gegenmuttern, von denen die erstere am untern Ende eine abgerundete Kuppe m von Gold, die andere eine gut amalgamirte Spitze hat; beide dienen zur Ein- und Ausleitung des zeitmessenden Stroms. Die Goldkuppe m ist bestimmt, auf dem Goldplättchen n zu ruhen, welches der mittelst Klemmschrauben verstellbare Querbalken MM trägt. Die amalgamirte Spitze kann mit dem Quecksilber in dem Näpfchen o in Berührung gesetzt werden. Das letzte Querstück i enthält eine Stahlspitze, welche nur bei solchen Versuchen gebraucht wird, wo man gleichzeitig die Höhe der Erhebung des Gewichts messen will. Das Näpfchen o befindet sich in einer isolirenden Platte von Gutta-Percha pp , welche auf dem Querbalken NN ruht. Die Platte ist bei y zerschnitten, und durch einen Lederstreifen wieder zu einem Charniergelenk verbunden. Das kleinere Stück derselben ist an das Messingstück NN durch Erwärmen angeklebt, das grössere liegt frei auf, und wird durch den federnden Draht qq angedrückt. Letzterer bringt zugleich das Quecksilber des Näpfchens o in leitende Verbindung mit dem von s .

Der Sinn dieser Anordnung ist folgender. Denken wir, der Muskel trage mittelst der erwähnten Zwischenstücke ein gewisses Gewicht, welches wir seine Belastung nennen wollen, und er werde durch Drehung der Scheibe HH , während die Schraube I nicht mitgedreht wird, so weit gesenkt, dass die Goldkuppe m das Goldplättchen n gerade berühre. Unter diesen Umständen ist die Spannung des Muskels gleich der Schwere seiner Belastung. Die geringste

Steigerung seiner Energie wird die Belastung um ein Weniges erheben und m von n entfernen müssen. Nachdem der Muskel so eingestellt ist, werde noch ein gewisses Gewicht auf die Schale K gelegt, welches wir die Ueberlastung nennen wollen. Die angehängten Theile können dadurch nicht weiter herabgezogen, der Muskel nicht stärker gespannt werden, weil sich die Goldkuppe m auf das Plättchen n aufstützt. Wenn jetzt der Muskel gereizt wird, ist es klar, dass er das Gewicht erst dann erheben kann, wenn seine elastische Spannung gleich der Summe der Belastung und Ueberlastung geworden ist. Es wird also jetzt der zeitmessende Strom, welcher von n auf m , dann durch das stromführende Zwischenstück und die amalgamirte Kupferspitze in das Quecksilber von o übergeht, erst in dem Augenblicke unterbrochen werden, wo die elastische Spannung des Muskels sich um eine, durch die Schwere der Ueberlastung genau zu messende Grösse vermehrt hat. Das war es gerade, was wir von unserem Apparate verlangten.

Es ist hier noch zu bedenken, dass am Ende der Zukkung, wenn die Goldkuppe m wieder auf das Plättchen n herabsinkt, der zeitmessende Strom wieder geschlossen, und dadurch die Messung vereitelt werden würde, wenn nicht gleichzeitig die Leitung desselben noch an einem andern Punkte dauernd unterbrochen würde. Um diesen Zweck zu erreichen, ohne dabei die freie Beweglichkeit der aufgehängten Theile zu beeinträchtigen, habe ich mehr Nachsinnen und complicirte Hülfsmittel aufgeboten, als wegen irgend eines anderen Theils des Apparats, bis sich zuletzt der einfachste und leichteste Ausweg eröffnete. Die amalgamirte Spitze ist nämlich so gestellt, dass sie ganz nahe über der Fläche des Quecksilbers in o schwebt. Hebt man den freien Theil der Gutta-Percha-Platte pp ein wenig, so dass das Quecksilber und die Spitze sich berühren, so bleibt jenes an dieser haften, auch wenn die Platte wieder gesenkt wird. Das Quecksilber erhält dann eine kegelförmig nach der

Spitze emporsteigende Oberfläche, wie sie in Fig. 1 dargestellt ist. Wird aber während der Zuckung des Muskels die Spitze gehoben, so reisst das Quecksilber ab, nimmt seine rundliche Oberfläche wieder ein (Fig. 2), und da beim Zurückfallen die Spitze dieser Oberfläche gar nicht wieder berührt, bleibt die Stromleitung zwischen beiden Theilen unterbrochen. Um die Vorrichtung in gutem Stande zu erhalten ist es nur nöthig von Zeit zu Zeit mit einem Pinsel zwischen Spitze und Quecksilber hinzufahren, und sie dadurch von Staub zu reinigen; sie erfüllt dann ihren Zweck, selbst bei Erhebungen der Spitze von $\frac{1}{10}$ mm. Höhe.

2) Leitungsapparat des zeitmessenden Stroms.

Da wir in dem Wege dieses Stroms eine Stelle von etwas veränderlichem Widerstande haben, nämlich die, wo die Goldkuppe *m* das Plättchen *n* mit veränderlichem Druck, daher auch mit verschiedener Innigkeit berührt: so war es vortheilhaft, den übrigen constanten Widerstand der Leitung zu vergrössern, damit jener veränderliche Theil desselben an Grösse dagegen verschwinde. Das Galvanometer besteht deshalb aus 1400 Windungen überspannenen Kupferdrahtes von 0,012 p. L. Dicke, welche auf einen Holzrahmen gewickelt sind, der den gewöhnlich bei Multiplicatoren gebräuchlichen ähnlich, nur etwas grösser ist. Parallel den Windungen hängt neben einer der Seitenflächen desselben, 0,03 mt. von ihr entfernt, das 0,09 mt. lange Magnetstäbchen an mehreren 1 mt. langen Coconfäden. Der Magnet trägt ein Spiegelchen und zwei verschiebbare dicke Metallringe, welche dazu dienen, seine Schwingungen hinreichend langsam zu machen, um bequem die Ausschläge ablesen zu können. Die Schwingungsdauer ist 24,607 Sekunden. Die Messung der Schwingungen geschah nach der von Gauss und Weber eingeführten Methode durch Beobachtung des in dem Spiegel des Magnetes gesehenen Bildes einer horizontalen Scale mittelst eines Fernrohrs. Der Mittelpunkt der Scale ist von dem des Magnetes 1500 Scalentheile entfernt, so dass jeder Theil

strich einer Ablenkung desselben um den Winkel von 1 Min. 9 Sec. entspricht. Ich durfte den Magnet den Drahtwindungen so weit nähern, ohne fürchten zu müssen, dass die Ablenkungswinkel aufhörten, den Stromeskräften proportional zu sein, weil in den folgenden Versuchen, während der Dauer des zeitmessenden Stromes, stets der Magnet den Windungen parallel ist, und bei den Intensitätsmessungen des Stromes die Ablenkungen sich nur auf zwei Winkelgrade belaufen.

Als erregende Elemente wandte ich vier Daniellsche an. Der von ihnen erregte Strom wirkte viel zu kräftig auf den Magnet, als dass die Intensität desselben mittelst des Spiegelbildes der Scale hätte gemessen werden können. Es ist dieser Umstand eine der Schwierigkeiten der Methode. Die Wirkung der dauernden Ablenkung ist immer um so sehr viel grösser als diejenige, welche der Strom während der kurzen Dauer der zu messenden Zeiträume hervorbringt, dass beide nicht ohne Weiteres an demselben Instrumente gemessen werden können und, um schliesslich aus den Ausschlägen des Magnetes die Zeit zu berechnen, muss man das Verhältniss jener beiden Wirkungen kennen. Pouillet hat zur Beseitigung dieser Schwierigkeit ein Verfahren angegeben, welches aber, wie Siemens*) gezeigt hat, keiner grossen Genauigkeit fähig ist. Ich habe deshalb einen anderen Weg eingeschlagen. Zur Messung der dauernden Ablenkung leitete ich nur einen kleinen, aber genau bestimmbaren Theil des Stroms durch das Galvanometer. Ich entfernte dasselbe zu diesem Zwecke aus der Leitung und fügte dafür zwei Drahtstücke ein, welche zusammen einen ebenso grossen Widerstand darboten; der des kürzeren dieser Stücke war genau $\frac{1}{141,06}$ von dem des Galvanometers. Die Abgleichung der Summe der Widerstände beider Drähte mit dem des letzteren geschah nach der von Wheatstone angegebenen Me-

*) Fortschritte der Physik im Jahre 1845, dargestellt von der physikalischen Gesellschaft zu Berlin. S. 50.

thode*) Der Strom welcher diese neue Leitung durchfloss, war daher genau so gross wie der, dessen Intensität bestimmt werden soll. Schaltete man dann das Galvanometer als Nebenschliessung des kürzeren erwähnten Drahtstückes ein, so zweigte sich $\frac{1}{142,06}$ des ganzen Stromes durch dasselbe ab, man braucht also nur die unter diesen Verhältnissen beobachtete Ablenkung mit 142,06 zu multipliciren, um die dauernde Ablenkung durch den ungetheilten Strom zu finden.**) Da es sich als vortheilhaft zeigte, nach jedem zeitmessenden Versuche, den getheilten Strom zur Beruhigung des Magnetes zu gebrauchen, ordnete ich die Leitungen so an, dass die beiden bezeichneten Verbindungsweisen durch blosses Umlegen eines Gyrotrops sehr schnell mit einander vertauscht werden konnten.

3) Der erregende Strom.

Gereizt habe ich den Muskel oder seinen Nerven theils durch Schliessung eines von vier Daniellschen Elementen erregten galvanischen Stromes, der durch ihn hin geleitet wurde, theils durch momentane Inductionsströme. Das erstere Verfahren hatte neben anderen kleinen den grösseren Nachtheil, die Reizbarkeit des Muskels durch die längere Dauer der Durchströmung schneller zu erschöpfen, gab übrigens ganz eben solche Resultate wie das letztere. Der angegebene Nachtheil war noch grösser bei den Versuchen, wo der Muskel auf die Beendigung eines ihn durchfliessenden galvanischen Stromes antworten sollte, weil dieser noth-

*) Poggendorff's Annalen d. Physik. Bd. LXII. S. 535. — Philos. Transactions. 1843. p. 332.

***) Allerdings wird der Strom durch Hinzufügung der Nebenschliessung etwas verstärkt, jedoch in so geringem Maasse, dass dieser Umstand hier ganz vernachlässigt werden konnte. In der That beträgt die dessfallsige Correction des Factors 142,06 auch im ungünstigsten Falle, wenn nämlich der Widerstand der übrigen Leitung gegen den der hier besprochenen Stücke ganz verschwände, nur 0,007, also noch keine Einheit in der letzten Decimalstelle.

wendig schon vom Beginn des Versuchs an, also mindestens während der Zeit einer ganzen Schwingungsdauer des Magnetes vor der Zuckung geschlossen sein musste.

Wesentliche Bedingung ist, dass der erregende Vorgang der Zeit nach genau zusammenfalle mit dem Beginn des zeitmessenden Stromes. Im Fall der Muskel auf den Eintritt eines galvanischen Stromes antworten soll, ist diese Bedingung sehr leicht und vollständig auf folgende Weise zu erfüllen. $K, Z,$ und $K,, Z,,$ (S. d. schematische Zeichnung Fig. 7) sind zwei galvanische Battereien, jede aus 4 Daniellschen Elementen bestehend; die Zinkenden befinden sich bei $Z,$ und $Z,,$ und sind mit dem Quecksilbernäpfchen c in leitender Verbindung. Die Kupferpole sind durch die Leitung $K, b d a G K,,$ verbunden. Bei b ist der Muskel in die Leitung eingeschaltet, a soll die Stelle bezeichnen, wo durch seine Zuckung die Leitung unterbrochen wird, d ist eine amalgamirte Spitze, G das Galvanometer. Ist die Leitung in dem Zustande, wie sie hier abgebildet ist, so besteht sie aus einem einzigen Kreise, in welchem zwei gleiche Batterien sich entgegenwirken, also kein Strom entsteht. Die etwaigen geringen Unterschiede ihrer elektromotorischen Kräfte verschwinden für die Wahrnehmung fast vollständig wegen der Ladungen, welche sich sehr schnell auf den Hähchen entwickeln, zwischen denen der Muskel befestigt ist, und durch welche zugleich der Strom in ihn eingeleitet wird. Wird aber die Spitze d in das Näpfchen c getaucht, so haben wir zwei von einander unabhängige Stromkreise $K, b d c Z,$ und $K,, G a d c Z,,$ welche beide nur mit der Stelle cd an einander hängen. Beide werden genau in demselben Augenblicke geschlossen, nämlich wann die Spitze d zuerst das Quecksilber in c berührt. Der Muskel unterbricht darauf die Leitung des zeitmessenden Stromes bei a . Wird alsdann c von d wieder getrennt, so ist kein geschlossener Kreis mehr vorhanden, und alle Ströme hören auf.

In allen Versuchsreihen, welche ich später anführen

werde, habe ich das zweite Verfahren gebraucht; der Muskel ist durch einen Inductionsstrom gereizt worden, welcher durch die Wirkung zweier nicht mit Eisen gefüllter Drahtspiralen auf einander erregt wurde. In dem Augenblicke, wo ein die eine derselben durchkreisender galvanischer Strom geschlossen wird, entsteht in der zweiten ein inducirter Strom von sehr kurzer Dauer, welcher in entgegengesetzter Richtung durch die Windungen läuft. In dem Augenblicke dagegen, wo der erstere erregende Strom aufhört, entsteht wieder ein inducirter Strom in der zweiten Spirale, dieses Mal aber dem inducirenden gleich gerichtet. Die elektromagnetische Wirkung der inducirten Ströme, wenn sie einen Magnet ablenken, ist in beiden Fällen gleich; aber der zweite hat eine viel kürzere Dauer und eine ebenso vielmal grössere Intensität als der erste. Da es mir wesentlich auf eine möglichst kurze Dauer ankam, wählte ich zur Reizung der Muskeln den bei der Unterbrechung des primären Stromes inducirten secundären, und brachte kein Eisen in die Spiralen, weil durch dessen Anwesenheit die Wirkung zwar sehr verstärkt, aber auch verzögert wird. Die inducirende Spirale konnte ganz in die inducirte hineingeschoben, oder mehr oder weniger von ihr entfernt werden, wodurch die inducirten Ströme stärker oder schwächer wurden. Um die thierischen Theile möglichst zu schonen, brauchte ich meist sehr schwache Ströme, welche wohl kaum durch ein anderes Galvanoskop sichtbar gemacht werden können, als durch den Froschnerven. Wegen ihrer Schwäche konnten auch nie unipolare Wirkungen eintreten, welche sonst den Gebrauch solcher Ströme für physiologische Zwecke, wenn die Wirkung localisirt werden soll, sehr misslich machen.*)

Dass der Augenblick, wo der inducirende Strom aufhört, und der inducirte den Muskel oder Nerven durchfährt, genau mit demjenigen zusammenfalle, wo der zeitmessende Strom

*) S. E. du Bois-Reymond, Untersuch. u. s. w. Bd. I. S. 435 ff.

anfängt, habe ich durch den einfachen in Fig. 6 abgebildeten Mechanismus erreicht. AB ist ein bei hinreichender Festigkeit möglichst leichtes Brettchen, welches um die stählerne Axe dd drehbar ist, dessen Drehung aber durch die beiden Klötze F und G auf einen ganz kleinen Winkel beschränkt wird. Bei B ist darin eine Platinspitze e befestigt, welche unten auf das Platinplättchen f aufstösst. Durch eine schwache Feder wird das Ende B des Brettchens eben nur kräftig genug herabgedrückt, um sicher die metallische Berührung zwischen e und f herzustellen. Das letztere Plättchen steht mit dem Draht g und dem Quecksilbernäpfchen h in leitender Verbindung, die Spitze e aber mit dem sehr biegsamen Drahte b, b,, der seitlich von dem Hebelchen ebenfalls nach einem Näpfchen hinführt. Am andern Ende A des Brettchens befindet sich ein Platinplättchen, welches mit einem ähnlichen Drahte a, a,, und einem entsprechenden Näpfchen i eine leitende Verbindung bildet. Ich werde diesen Apparat im Folgendem mit dem Namen der Wippe bezeichnen. Dazu gehört noch der Schliessungsstab C, ein kupferner Stab mit Schraubenklemme zur Einfügung des Drahtes c, c,, und einem vergoldeten und abgerundeten unteren Ende. Letzterer wird in der Hand gehalten; wenn man sein unteres Ende auf das Plättchen bei A aufsetzt, wird eine leitende Verbindung hergestellt zwischen dem Drahte c,, c, und dem a, a,,. Geschieht dieses Aufsetzen hinreichend kräftig, so wird gleichzeitig das Brettchen AB in Bewegung gesetzt, A gesenkt, B gehoben, und dadurch die Spitze e von der Platte f getrennt. Ist also der zeitmessende Strom durch c,, c, C A a, a,, i geschlossen, und der inducirende durch h g,, g, f e b, b,, so wird letzterer in dem Augenblicke geöffnet, wo ersterer geschlossen wird. Streng genommen wird allerdings zwischen der ersten Berührung von C mit A und der Trennung der Spitze e von f eine Zeit verfließen, welche zur Fortpflanzung des Stosses durch die elastische Masse des Holzes nöthig ist. Davon aber, dass

diese Zeit zu klein ist, um selbst mit unserem Apparate wahrgenommen werden zu können, kann man sich auf folgende Weise überzeugen. Man stelle eine Leitung her zwischen $b_{,,}$ und i , und setze das Näpfchen h und den Draht $c, c_{,,}$ mit den beiden Enden der Leitung des zeitmessenden Stromes in Verbindung. Setzt man jetzt den Schliessungsstab C auf das Plättchen A so leise auf, dass das Hebelchen nicht bewegt wird, so wird der Strom dauernd geschlossen über $h, g_{,,}, g, f, e, b, b_{,,}, i, a_{,,}, a, A, C, c, c_{,,}$, und der Magnet wird gewaltsam gegen die Wände seines Kastens geworfen. Setzt man dagegen den Schliessungsstab kräftig auf, dass das Hebelchen gehoben wird, so wird der bei A geschlossene Strom auch sogleich wieder zwischen e und f unterbrochen, dauert also nur so lange, als zur Übertragung des Stosses nach B nöthig ist. Ich habe dabei aber niemals die geringste Wirkung auf den Magnet gesehen. Durch Einfluss von Luftströmungen könnten allenfalls Aenderungen seines Schwingungsbogens von $\frac{1}{2}$ Scalentheil verdeckt werden, was einer Zeitdauer von etwa $\frac{1}{10000}$ Secunde entsprechen würde. Jedenfalls genügt es zu wissen, dass der Fehler, welchen unser Mechanismus einführt, viel kleiner ist, als die übrigen nicht zu vermeidenden Störungen der Versuche.

Wir haben bisher den zur Reizung angewendeten Strom einen momentanen genannt; es fragt sich indessen noch, in wie weit wir dazu berechtigt sind. Die Dauer solcher Inductionsströme hat sich bisher durch ihre Kleinheit allen Messungen entzogen, und ist deshalb in allen Anwendungen immer als verschwindend klein betrachtet worden. Indessen kommen wir bei mehreren der späteren Versuche der Grenze, bis zu welcher man die Feinheit der Beobachtungen bisher getrieben hat, sehr nahe oder überschreiten sie selbst. Ich musste darum nach Mitteln suchen, wodurch ich mich überzeugen konnte, dass die Dauer der angewendeten Ströme auch gegen so kleine Zeiträume nicht in Betracht kommt,

wie die von mir gemessenen sind. Dazu bot mir die eben beschriebene Wippe eine Gelegenheit, nachdem eine kleine Veränderung daran vorgenommen war. Ich befestigte nämlich an der Stelle des Platinplättchens A ein amalgamirtes Kupferplättchen, auf welchem eine ganz dünne Lage flüssigen Quecksilbers ausgebreitet war, und ersetzte den Schliessungsstab durch einen ähnlichen mit amalgamirter Spitze. Wenn ich nun mit diesem gegen die amalgamirte Platte stiess, so schloss er die Leitung zwischen c,, und i in dem Momente, wo er zuerst das flüssige Quecksilber berührte. Das Hebelchen bewegte er aber und unterbrach dadurch die Leitung zwischen h und b,, erst dann, wenn er durch die Quecksilberschicht bis zur Kupferplatte vorgedrungen war. Die Zwischenzeit beider Momente wurde nach demselben Verfahren gemessen, durch welches wir uns vorher davon überzeugt haben, dass die Zeit der Fortpflanzung des Stosses in der Wippe eine verschwindend kleine sei. Ihre Grösse ergab sich zu 0,00012 bis 0,00033 Secunden; sie variiert natürlich nach der Geschwindigkeit des Aufsetzens; hier genügt es aber ihren Werth nur ungefähr zu kennen. Lässt man nun im ersten jener Momente den inducirenden Vorgang beginnen, unterbricht im zweiten die Leitung des inducirten Stromes, der bis dahin das Galvanometer durchkreist hatte, so erfährt man aus der Wirkung auf den Magnet, ob in der angegebenen Zeit der ganze oder nur ein Theil des inducirten Stromes hindurch gegangen sei. Um durch Aufsetzen des Schliessungsstabes den inducirenden Strom zu unterbrechen, ordnete ich die Leitungen so an, dass der Stab und die zugehörige Leitung der Wippe eine Nebenschliessung von verhältnissmässig geringem Widerstande für die inducirende Spirale bildeten. Wurde der Stab aufgesetzt, so ging fast der ganze Strom, der bisher die Spirale durchkreist hatte, von dieser auf die neue Schliessung über. Dadurch wurde in der zweiten Spirale ein Strom inducirt, der dieselbe Richtung und dieselbe Grösse elektromagnetischer Wir-

kung, aber eine viel grössere Dauer hatte, als derjenige, welchen ich bei den physiologischen Versuchen durch blosser Unterbrechung der Leitung der inducirenden Spirale zu erregen pflegte. Die Verschiedenheit der Dauer rührt davon her, dass sich bei Einschaltung einer Nebenleitung auch in der inducirenden Spirale ein inducirter Strom bilden kann, bei unterbrochener Leitung aber nicht. Wie gross dieser Unterschied sei, lässt sich daraus beurtheilen, dass bei den mächtigen Apparaten von Henry*) die physiologische Wirkung des Oeffnungsschlages ganz aufhörte, wenn der Strom wegen Einschaltung einer guten Nebenschliessung statt durch Unterbrechung der Leitung verschwand. In unseren Versuchen lenkte der inducirte Strom, wenn er ganz durch das Galvanometer ging, den Magnet um 1,4 ab, wurde er aber durch Hebung der Wippe auf die angegebene Weise nach der vorher gemessenen Zwischenzeit unterbrochen, nur um 0,4 bis 0,6. Es ging also in der Zeit von 0,00012 bis 0,00033 Secunden, $\frac{1}{3}$ bis $\frac{2}{5}$ dieses Stroms hindurch. Da nun die Dauer desselben eine vielmal grössere war, als die der zur Reizung gebrauchten Ströme, so können wir daraus entnehmen, dass die Dauer der letzteren jedenfalls nur wenige Zehntausendtheile einer Sekunde betrug, und insofern wirklich als momentan gegen die bei der Muskelzuckung zu messenden Zeiträume betrachtet werden kann.

Es bleibt uns schliesslich noch übrig, die Methode der Berechnung unserer Versuche anzugeben. Wir müssen dabei bedenken, dass der Magnet niemals dauernd in absolute Ruhe versetzt werden kann, sondern wenn man dies auch für einen Augenblick erreichen möchte, dass er doch bald durch Einfluss der Luftströmungen wieder anfangen würde zu schwingen. Wir müssen deshalb zum Zwecke der Be-

*) S. Poggendorff's Annalen d. Physik. Bd. LIV. S. 87. — Phil. Magaz. Ser. III. Vol. XVIII. p. 482. — Ueber das ganze Verhältniss s. E. du Bois-Reymond, Untersuchungen u. s. w. Bd. I. 2. Abschn. Kap. II. §. IV.

rechnung von der Annahme ausgehen, dass der Magnet schon vor der Einwirkung des zeitmessenden Stroms in Schwingungen begriffen sei.

Die Zeitdauer t des zeitmessenden Stroms kann berechnet werden, so oft man kennt 1) die Grösse des Ausschlags oder des halben Schwingungsbogens h , vor der Einwirkung des Stroms, 2) die Grösse desselben h'' nachher, 3) die Ablenkung α , welche stattfand in dem Augenblicke, wo der zeitmessende Strom geschlossen wurde, 4) die Schwingungsdauer T des Magnets und 5) die Ablenkung I , welche der zeitmessende Strom hervorbringen würde, wenn er gleichmässig anhielte. Wie die letztere ermittelt wird, ist schon angegeben; h , und h'' können mit äusserster Genauigkeit abgelesen werden, dagegen kann α nicht hinreichend genau bestimmt werden, wenn die Schwingungsbögen und somit auch die Geschwindigkeit des Magnets gross sind. Die Formel, nach welcher t berechnet werden kann, wenn dasselbe ein so kleiner Theil von T ist, dass t^2 gegen T^2 verschwindet, ist folgende:

$$t = \frac{T}{2\pi I} \left[\sqrt{h''^2 - \alpha^2} - \sqrt{h^2 - \alpha^2} \right],$$

worin für beide Wurzeln der positive Zahlenwerth derselben zu nehmen ist, wenn der Strom die vorhandene Geschwindigkeit des Magnets vermehrt, für beide der negative, wenn er sie vermindert, endlich blos für die zweite der negative, wenn er sie umgekehrt hat. Aus dieser Formel ergibt sich gleichzeitig, dass ein Fehler im Werthe von α am wenigsten den Werth von t verändern wird, wenn $\alpha = 0$,

weil dann auch $\frac{dt}{d\alpha} = 0$. Wir entnehmen daraus die Regel, den zeitmessenden Strom in dem Augenblick zu schliessen, wo der Magnet den Meridian passirt. Der mögliche Fehler von α wird dabei am kleinsten werden, wenn die Bewegung langsam, also der Werth von h , möglichst klein ist, und wird ausserdem weniger Einfluss haben, wenn die

Differenz der Zahlenwerthe der Wurzeln, als wenn ihre Summe zu nehmen ist. Daraus bestimmt sich als das vortheilhafteste Verfahren, dass man den Strom dann einwirken lässt, wenn die vorhandene Bewegung des Magnets durch ihn verstärkt wird. Die Formel reducirt sich für diesen Fall auf

$$t = \frac{T}{2\pi I} (h'' - h,)$$

Ausser der Correction wegen Reduction der abgelesenen Scalentheile auf die Tangenten des Ablenkungswinkels des Magnets, welche bei grossen Ausschlägen nöthig wird, ist noch eine zweite wegen der allmäligen Abnahme der Schwingungsbögen zu machen. Da dieselbe sehr gering ist, so dürfen wir sie als gleichbleibend bei mehreren aufeinander folgenden Schwingungen ansehen. *) Um die Art der Berechnung zu erläutern, greife ich ein Beispiel heraus. Vor der Einwirkung des Stroms schwingt der Magnet hin und her zwischen den Zahlen 497,7 und 496,7, der dem Meridian entsprechende Scalenpunkt ist also 497,2. In dem Augenblicke, wo dieser Punkt unter dem Faden des Fernrohrs wieder vorbeigeht, wird der Strom geschlossen, und bleibt es, bis er vom Muskel wieder unterbrochen wird. Der Magnet ist nun in stärkere Schwingungen versetzt, und es werden nach einander abgelesen 597,7; 397,3; 596,9. Während eines Hin- und Hergangs hat sich also der obere Ausschlag vermindert um 0,8. Während des Hingangs von 597,7 nach 397,3 wird er also um 0,4 abgenommen haben, so dass dem unteren Ausschlag 397,3 der obere 597,3 entspricht. Das Mittel beider giebt uns als Lage des Meridians 497,3, hinreichend übereinstimmend mit dem vorhergefundenen Werthe. Auf dem Wege zwischen der Einwirkung des Stroms bei 497,3 bis zum ersten Ausschlag 597,7, also während einer Viertelschwingung, wird $\frac{1}{4}$ von 0,8 verloren ge-

*) Gauss und Weber, Result. aus d. Beob. d. magnet. Vereins im J. 1837. S. 67.

gangen sein; es entspricht also dem Augenblicke der Stromwirkung der obere Ausschlag 597,9 und $h_{,,} - h$, wird sein $597,9 - 497,7 = 100,2$. Bezeichnen wir die drei aufeinander folgenden oberen Ausschläge mit a , $a_{,,}$ und $a_{,,,}$, so ist also

$$h_{,,} - h = a_{,,} - a + \frac{1}{4} (a_{,,} - a_{,,,})$$

Ich will zum Schluss der Auseinandersetzung der Methode noch einen Controlversuch beschreiben, den ich anstellte, um die Ausführbarkeit unserer Messungen an einer andern Kraft zu prüfen, die sehr viel schneller, als die Muskelkraft eintritt und verschwindet. Ich substituirte nämlich für den Muskel eine Spiralfeder aus Messingdraht und für das Gewicht einen Magnetstab, dessen unteres Ende in den inneren Hohlraum einer Drahtspirale hineinhing. Wurde durch diese Spirale ein Strom geleitet, so wurde der Magnet herabgezogen, die Goldkuppe m berührte das Plättchen n , und stellte die Leitung des zeitmessenden Stromes her; in dem Augenblicke aber, wo der Strom in der Spirale aufhörte, schwand die elektromagnetische Kraft derselben, und der Magnet wurde durch die Spannung der Spiralfeder emporgezogen. Wurde der Strom der Spirale mittelst der Wippe genau in demselben Augenblicke unterbrochen, in welchem der zeitmessende geschlossen wurde, so konnte durch den letzteren die Zeit gemessen werden, welche bis zum Abheben der Goldkuppe vom Plättchen verfloss. Diese Zeit muss = 0 sein, wenn das Princip unserer Versuche richtig ist; sie war es in der That, so oft nicht seitliche Pendelschwankungen der aufgehängten Theile stattfanden, selbst nur so kleine, wie sie ein in der Ferne vorüberfahrender Wagen erregt. Fand Letzteres statt, so erfolgten kleine unregelmässige Ausschläge des Magnets, die bis zu 12, auch 20 Scalentheilen stiegen. Abgesehen von diesen Störungen kann also auch eine so geringe Kraft, wie die hier angewendete elektromagnetische, welche gleich der Schwere von 3 bis 5 grm. war, und auf eine Masse von 100 grm. wirkte, die mechanische Wirkung, auf welcher un-

rere Messung beruht, mit einer grössern Präcision ausführen, als wir durch unseren Apparat ermessen können. Die Kraft der Muskeln ist, wie wir sehen werden, sehr viel grösser, deshalb werden die Messungen auch durch Pendelschwankungen viel weniger beeinträchtigt.

§. III.

Das Anwachsen der Energie im Muskel bei der einfachen Zuckung.

Ich habe auseinandergesetzt, auf welche Weise es möglich ist, die Zeit zu messen, die von dem Augenblicke der Reizung an bis zu dem vergeht, wo die elastische Kraft des Muskels einen bestimmten, durch die aufgelegte Ueberlastung gemessenen Werth erreicht hat. Wir wollen zunächst vergleichende Messungen über die verschiedenen Ueberlastungen anstellen.

Ich setze zu diesem Zwecke die folgenden drei Versuchsreihen I, II und III hierher. Die Schläge sind dabei durch den Muskel selbst geleitet und so stark gemacht worden, dass durch eine Verstärkung derselben ihre Wirkung auf den Muskel nicht mehr gesteigert wurde, dass also die Erregung desselben ihr Maximum erreichte. Die erste Rubrik mit der Bezeichnung No. giebt die Reihenfolge der einzelnen Beobachtungen, die zweite die Ueberlastung in Grammen, die dritte den Unterschied der Ausschläge vor und nach der Zuckung an, an welchem ich schon die beiden nöthigen Correctionen angebracht habe, so dass diese Zahlen der Zeitdauer proportional sind. Die Tabellen sind so geordnet, dass in derselben Horizontalreihe Versuche mit gleichen Ueberlastungen neben einander stehen. Die Belastung bestand in allen Fällen nur in den wesentlichen Stücken des Apparats; die Einstellung des Muskels, d. h. diejenige Hebung oder Senkung seines Aufhängungspunktes, bei welcher die

Goldkuppe m das Goldplättchen n nach Entfernung der Ueberlastung gerade berührte, erneute ich so oft, als ich mit der letztern wechselte.

Reihe I.

Angestellt mit dem Wadenmuskel eines im Frühling frisch gefangenen, sehr kräftigen Frosches. Ablenkung des Magnets durch den getheilten Strom zu Anfang des Versuches 119,42 Scalentheile. Die Inductionsspiralen sind so weit von einander entfernt, dass die Schliessungsschläge keine Wirkung mehr geben, sondern nur noch die Oeffnungsschläge.

No.	Ueberlastung	Differenz der Ausschläge	No.	Ueberlastung	Differenz der Ausschläge	No.	Ueberlastung	Differenz der Ausschläge
1	0	46,87	17	0	35,25	18	0	38,50
2	40	55,77	16	40	55,74	19	40	61,44
3	80	68,46	15	80	65,92	20	80	81,45
4	120	79,50	14	120	82,85	21	120	96,76
5	160	0,99	13	160	88,85	22	140	119,83
6	200	104,50	12	200	103,03			
7	240	116,60	11	240	120,16			
8	280	140,08	10	280	135,88			
39	300	148,35						

Nach Beendigung dieser Messungen hob der Muskel 160 grm. nicht mehr hoch genug, um die amalgamirte Spitze des stromleitenden Zwischenstücks vom Quecksilber loszureissen; bei kleineren Ueberlastungen trat dagegen eine Erscheinung ein, welche ich häufig kurz vor dem Erlöschen der Reizbarkeit bemerkt habe, und wodurch fernere Beobachtungen unmöglich gemacht wurden. Dies waren lang anhaltende, krampfhaft zusammenziehungen, die jeder elektrischen Reizung oder mechanischen Erschütterung folgten. Die Bedin-

gung ihres Eintritts kenne ich noch nicht; vielleicht ist es eine Modification der Reizbarkeit durch die hindurchgegangenen Ströme. — Ablenkung des Magnets zum Schluss 119,61.

Reihe II.

Der andere Schenkel desselben Frosches. Ablenkung zu Anfang 119,75. Die gebrauchten Schläge sind stärker, indem die Spiralen ganz in einander geschoben sind.

No.	Ueberlastung	Differenz der Ausschläge	No.	Ueberlastung	Differenz der Ausschläge	No.	Ueberlastung	Differenz der Ausschläge
1	250	140,80						
2	250	140,00						
3	200	111,62						
4	200	111,37						
5	150	90,30	18	150	132,75			
6	150	93,23	17	150	122,01			
7	100	73,10	16	100	90,86	19	100	99,91
8	100	73,50	15	100	91,58	20	100	108,16
9	50	57,21	14	50	64,93	21	50	72,20
10	50	54,14	13	50	58,76	22	50	70,96
11	0	31,15				23	0	46,81
12	0	32,43				24	0	39,60

Nach Versuch 18 hob der Muskel nicht mehr 200 gm.; es wurden deshalb die Ueberlastungen wieder verringert. Ablenkung zum Schluss: 120,57.

Reihe III.

Muskel eines Frosches, der den Winter über ohne Nahrung aufbewahrt worden war. Ablenkung vor den Versuchen: 119,94.

No.	Ueberlastung	Differenz der Ausschläge	No.	Ueberlastung	Differenz der Ausschläge
1	80	185,3			
2	80	183,3			
3	60	123,7			
4	60	131,1			
5	40	87,3	14	40	111,9
6	40	87,1	13	40	106,2
7	20	66,6	12	20	72,7
8	20	85,1	11	20	76,0
9	0	38,7	10	0	38,9

Zum Schluss wurden 60 grm. nicht mehr hoch genug gehoben, um den Quecksilberfaden zu zerreißen. Ablenkung: 120,32.

Das allgemeine Resultat dieser Reihen, welches wir auch in allen folgenden Versuchen immer wieder finden werden, ist, dass bei gleicher Belastung und gleichem Ermüdungszustande die Differenzen der Ausschläge des Magnetes desto grösser sind, je grösser die Ueberlastung. Diese Differenzen sind aber der Dauer des zeitmessenden Stromes proportional, d. h. derjenigen Zeit, welche zwischen der Reizung des Muskels durch den elektrischen Schlag und dem Augenblicke vergeht, wo er das Gewicht erhebt. Um Letzteres zu bewirken, muss die Energie des Muskels desto höher gestiegen sein, je grösser die Ueberlastung ist. Es ergibt sich also aus diesen Versuchen dass sich die höheren Grade der Energie später als die niederen entwickeln; sie entsteht nicht plötzlich unmittelbar nach der Reizung, sondern steigt erst

allmählig an, ein Resultat übereinstimmend mit dem, was wir schon in den vorläufigen Versuchen nach einer ganz andern Methode gefunden hatten.

Die Form der Ansteigerung der Energie im nicht ermüdeten Muskel ergibt sich am besten aus Reihe I No. 1 bis 18, da hier die Zahlen der später angestellten Beobachtungen 10 bis 18 nur kleine Unterschiede von wechselndem Sinne gegen die von 1 bis 9 zeigen. Ich stelle sie nebst ihren Mittelwerthen und der aus diesen berechneten Zeit in der folgenden Tafel zusammen.

Reihe	Ueberlastung	Beobachtete Differenz der Ausschläge.		Mittel derselben	Zeit in $\frac{1}{100}$ Sekunden	Differenzen der Zeit für 40 gm.
I.	0	46,87.	35,25. 38,50	40,21	0,93	0,36
	40	55,77.	55,74	55,76	1,29	0,26
	80	68,46.	65,92	67,19	1,55	0,32
	120	79,50.	82,85	81,17	1,87	0,24
	160	93,90.	88,85	91,37	2,11	0,28
	200	104,50.	103,03	103,76	2,39	0,34
	240	116,60.	120,16	118,38	2,73	0,45
	280	140,08.	135,88	137,98	3,18	0,48
	300		148,35	148,35	3,42	

In der letzten Rubrik sind die Zeiträume berechnet, in welchen die elastische Spannung des Muskels um gleiche Grössen gewachsen ist. Dieselben sind von 40 bis 200 oder 240 gm. nahehin gleich, am Anfang und Ende aber grösser. Die elastische Kraft des Muskels ist also anfangs mit steigender, dann mit ziemlich gleichförmiger, endlich mit abnehmender Geschwindigkeit bis zu ihrem Maximum gewachsen. Dasselbe Verhältniss stellt sich auch trotz des Einflusses der zunehmenden Erschöpfung in den beiden andern Versuchs-

reihen heraus, so lange die Ermüdung nicht zu schnell zunimmt.

Reihe	No.		Ueberlastung	Mittel der Differenz der Ausschläge	Zeit in $\frac{1}{100}$ Sekunden	Differenzen der Zeit.
II.	1.	2.	250	140,39	3,22	0,66
	3.	4.	200	111,50	2,56	0,46
	5.	6.	150	91,76	2,10	0,42
	7.	8.	100	73,30	1,68	0,40
	9.	10.	50	55,67	1,28	0,55
	11.	12.	0	31,79	0,73	0,69
	13.	14.	50	61,84	1,42	0,67
	15.	16.	100	91,21	2,09	0,83
	17.	18.	150	127,38	2,92	0,53
	19.	20.	100	104,03	2,39	0,75
	21.	22.	50	71,58	1,64	0,65
	23.	24.	0	43,20	0,99	
	III.	1.	2.	80	184,3	4,23
3.		4.	60	127,4	2,92	0,92
5.		6.	40	87,2	2,00	0,49
7.		8.	20	65,8	1,51	0,62
9.		10.	0	38,8	0,89	0,81
11.		12.	20	74,3	1,70	0,80
13.		14.	40	109,0	2,50	

Nur bei den letzten acht Versuchen der Reihe II bringt die schnell zunehmende Erschöpfung eine entgegengesetzte Vertheilung der Differenzen hervor, wo die grössere in der Mitte steht.

In so weit haben unsere jetzigen Versuche nur die That- sachen bestätigt, welche wir aus den von zuckenden Mus- keln gezeichneten Curven abgeleitet hatten. Ausserdem stellt

sich aber noch ein neues, sehr bedeutsames Resultat heraus, welches aus den früheren Versuchen nicht entnommen werden konnte. Aus den Zahlen, die wir gewonnen haben, wenn keine Ueberlastung aufgelegt war, ergibt sich nämlich, dass erst eine Zeit nach der Reizung vergeht, ehe die Energie des Muskels überhaupt zu steigen anfängt. Der zeitmessende Strom wird in diesem Falle unterbrochen, sobald die erste merkliche Spur der Energie eingetreten ist; das geschah in unseren Versuchen erst um fast $\frac{1}{100}$ Secunde später als die Reizung. Dadurch wird eine vollständige Analogie des Verlaufs der Zuckung zwischen den animalischen und organischen Muskeln hergestellt. Nach einer verhältnissmässig schnell vorübergehenden Reizung des Darms oder anderer Organe mit organischen Muskelfasern treten die ersten Spuren der Contraction erst eine merkliche Zeit nach Beendigung der Reizung ein, sie nimmt langsam zu, und lässt dann eben so langsam wieder nach.

Die Zeitdauer dieses Vorgangs und seiner einzelnen Stadien ist bei verschiedenen mit solchen Fasern versehenen Organen äusserst verschieden, am grössten wohl in den contractilen Fasern der Gefässwandungen. Ganz dasselbe findet, wie wir jetzt erfahren haben, auch bei den animalischen Muskeln statt; es vergeht zuerst nach der Reizung eine Zeit, in der sie kein sichtbares Zeichen ihrer Thätigkeit geben, dann steigert sich ihre Energie allmählig bis zu ihrem Maximum, um nachher wieder zu sinken, nur dass diese Zeiträume bei ihnen nach Hunderttheilen einer Secunde zu messen sind, wenn sie bei den organischen nach ganzen Secunden oder nach Minuten gemessen werden.

Wir können uns den Vorgang durch eine Curve graphisch darstellen, deren Abscissen der Zeit, deren Ordinaten dagegen der Spannung des Muskels bei unveränderter Länge proportional sind. Aus unseren Messungen lässt sich allerdings erst der Anfang derselben nicht ganz bis zum Maximum hin construiren, wie es in Fig. 4 nach den Zahlen der

Reihe I geschehen ist,*) wir können uns aber wenigstens die Art ihres weiteren Verlaufes aus den zeichnenden Versuchen ergänzen. Das Stück ab der Curve fällt mit der Abscissenlinie zusammen, sie steigt dann anfangs concav nach oben, später convex bis zu ihrem Gipfel, wird dann zunächst convex bleiben, später concav wieder sinken, und sich endlich asymptotisch der Abscissenlinie anschliessen. Sie muss in der allgemeinen Form viel Aehnlichkeit mit der Curve der Höhen des Gleichgewichts haben, von welcher wir in Fig. 3 einige Punkte bestimmten, doch können ihre Ordinaten nicht genau denen der letzteren proportional sein. Jene giebt die Spannungen bei gleicher Muskellänge, diese die Verkürzungen der Muskellänge bei gleicher Spannung. Da aber der Elasticitätscoefficient sich durch die Verkürzung und durch die Thätigkeit nach Ed. Weber beträchtlich ändert, sind die Verkürzungen den Kräften nicht proportional. Es werden vielmehr die grösseren Ordinaten in der Curve der Gleichgewichtshöhen verhältnissmässig höher sein, als in der der Spannungen, die nach oben gewendeten Concavitäten stärker concav, die Convexitäten schwächer convex. Eine Vergleichung der Curve in Fig. 4 mit dem Anfang der andern, so weit wir aus Fig. 3 seine Gestalt ungefähr entnehmen können, scheint dem nicht zu widersprechen.

Ich habe den Nachweis, dass die gemachten Messungen nicht mit beträchtlicheren Fehlern behaftet sein können, bis hierher verspart, und will ihn jetzt im Zusammenhange geben. Wir können die möglichen Fehlerquellen in zwei Klassen theilen, nämlich erstlich in solche, welche die Messung der Zeit zwischen Reizung und Trennung der Goldkuppe m vom Plättchen n beeinträchtigen, und zweitens in solche welche verhindern, dass diese Trennung genau in dem Augenblicke geschehe, wo der Muskel den verlangten Grad der

*) Die Zahlen an der Abscissenlinie bezeichnen $\frac{1}{100}$ Secunden, die an den Verticalen die Vermehrung der Spannung in Grammen.

Energie erreicht hat. Zu den ersteren gehören Störungen in der Bewegung des Magnetes durch Luftströme, Fehler der Ablesung, Dauer des Inductionsstroms, Aenderungen in der elektromotorischen Kraft und dem Widerstande der Daniellschen Elemente u. s. w. Unter ihnen ist nur eine einzige Fehlerquelle, welche das Resultat um mehr als einen kleinen Bruch eines Scalentheils verändern kann, das ist die nicht immer ganz vollkommene Schliessung des Stroms an der Unterbrechungsstelle. Es kommen einzelne Versuche vor, bei welchen entweder gar keine oder eine viel kleinere Wirkung auf den Magnet stattfindet, als in den entsprechenden benachbarten Beobachtungen, weil sich ein oft unsichtbares Stäubchen zwischen Goldkuppe und Goldplatte eingelegt hat. Ein Strich mit einem Pinsel dazwischen hindurch beseitigt die Störung. Sehr viel wichtiger ist diese Fehlerquelle, wenn vermöge der Bedingungen des Versuchs der Druck an der Unterbrechungsstelle sehr gering und die Berührung der Kuppe und des Plättchens nicht innig genug ist, um nicht dem Strom einen merklichen Widerstand entgegenzusetzen. Das ist der Fall in den Versuchen, wo keine Ueberlastung aufgelegt ist. Hier kommt es, wie in allen andern Fällen darauf an, den Muskel so einzustellen, dass sich die Metalltheile an der Unterbrechungsstelle möglichst zart berühren, und durch diese Art der Berührung muss auch der Strom hergestellt werden. Ich habe gefunden, dass der Widerstand der Unterbrechungsstelle verschwindend klein ist gegen den der ganzen Leitung, sobald eine ganz geringe Ueberlastung z. B. 1 grm. aufliegt, und dass demgemäss die Intensität des Stromes nicht verändert wird, mag man viel oder wenig Gewichte noch dazu legen. Dagegen gelang es mir durch möglichst zarte Einstellung bei mangelnder Ueberlastung den Strom etwa um $\frac{1}{100}$ seiner ganzen Grösse zu schwächen, weiter konnte ich die Schwächung nicht treiben, ohne ihn gleichzeitig ganz zu unterbrechen. Indessen ist die Möglichkeit nicht zu läugnen, dass der Wi-

derstand der Unterbrechungsstelle jeden beliebigen Werth erreiche, auch kommen einzelne Zuckungsversuche ohne Ueberlastung vor, bei denen die Ausschläge nur $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{2}$ so gross sind, als sämtliche andere entsprechende der Reihe, was vielleicht in dem angegebenen Umstande seinen Grund findet, vielleicht auch in einem später zu erwähnenden. Eine ähnliche Schwächung des Stroms muss auch bei aufgelegter Ueberlastung in den letzten Augenblicken eintreten, ehe das Gewicht gehoben wird, weil sich nämlich der Druck an der Unterbrechungsstelle um eben so viel schwächt, als die Kraft des Muskels steigt, bis er endlich im Augenblicke der Trennung ganz aufhört. Nehmen wir an, der Strom höre von dem Zeitpunkte an, wo der Druck an der Unterbrechungsstelle nur noch 1 grm. beträgt, ganz auf. Die Spannung des Muskels steigt in der ersten Versuchsreihe in einer 12 Scalentheilen entsprechenden Zeit um 40 grm., um 1 grm. also in der von 0,3 eines solchen Theils. Um soviel höchstens wurde also auch die besprochene Fehlerquelle den Ausschlag bei kräftigen Muskeln verringern können; um mehr, wenn die Energie langsamer ansteigt.

Folgende mechanische Bedingungen müssen erfüllt sein, damit der zeitmessende Strom genau in dem Augenblicke unterbrochen werde, wo die Muskelspannung der Schwere der Belastung und Ueberlastung gleich wird:

1) Genaue Einstellung des Muskels, so dass bei Wegnahme der Ueberlastung die Theile an der Unterbrechungsstelle sich eben nur berühren.

2) Vollständige Unbiegsamkeit und Unausdehnbarkeit der Theile, zwischen welchen der Muskel gespannt ist.

3) Der Zug des Muskels muss in einer Verticallinie geschehen, welche durch sämtliche Schwerpunkte der zu hebenden Stücke hindurchgeht.

4) Die zu hebenden Stücke dürfen zur Zeit der Hebung in keiner anderen Bewegung begriffen sein.

Ich habe mit möglichster Sorgfalt diese Bedingungen zu

erfüllen gesucht; da uns indessen für so kleine Fehler der Zeit, wie sie hier in Betracht kommen, die sonst gemachten mechanischen Erfahrungen ganz im Stich lassen, müssen wir die Grenzen ihrer möglichen Grösse genau zu bestimmen suchen.

Die Einstellung des Muskels wäre mit der ausreichendsten Genauigkeit bis auf etwa $\frac{2}{100}$ mm. zu vollführen, wenn er nicht die sogenannte elastische Nachwirkung in bedeutendem Grade zeigte. Diese besteht bekanntlich darin, dass der betreffende elastische Körper, wenn er durch angehängte Gewichte gedehnt wird, nicht gleich im Anfang seine volle Ausdehnung erreicht, sondern noch längere Zeit hindurch sich merklich verlängert, umgekehrt, wenn seine Spannung vermindert wird, sich eben so allmählig verkürzt. Diese elastische Nachwirkung ist in den Muskeln sehr nachhaltig, wie es schon aus den Versuchen von Ed. Weber hervorgeht. Daher geschieht es, dass der Muskel, der durch eine bestimmte Belastung gespannt, und um ein gewisses verlängert worden ist, entweder, wenn er sich weiter frei verlängern kann, es allmählig immer mehr und mehr thut, oder, wenn er wie in unsern Versuchen es nicht kann, einen Theil seiner Spannung wieder verliert. Er verhält sich daher nach einiger Zeit so, als wäre er mit geringerer Belastung eingestellt worden, oder es ist nach der vor mir angenommenen Ausdrucksweise ein Theil seiner Belastung zur Ueberlastung geworden. Dadurch wird die Unterbrechung des zeitmessenden Stromes verspätet, und zwar um so mehr, je langsamer die Kraft des Muskels steigt. Man schützt sich vor dieser Art der Fehler dadurch, dass man vor dem Beginne der Versuche den Muskel eine Zeit lang durch eine viel grössere Belastung dehnt, als man nachher gebrauchen will. Es ist ausserdem zu beachten, dass zwei Zuckungen nicht zu schnell aufeinander folgen dürfen, weil nach der ersteren derselben die Spannung des Muskels noch eine Zeit lang, mitunter 30 bis 40 Secunden, merklich erhöht bleibt,

und deshalb bei der zweiten das Gewicht früher erhoben wird, als es ohne jenen Einfluss geschehen sein würde.

Auch abgesehen von der elastischen Nachwirkung kommen Fehler der Einstellung besonders bei den Versuchen ohne Ueberlastung in Betracht. Will man dem zeitmessenden Strome eine hinreichende Leitung herstellen, so muss man nothwendig den Muskel ein wenig tiefer einstellen, als es zur ersten zarten Berührung an der Unterbrechungsstelle nöthig ist. Seine Spannung wird unter diesen Umständen etwas kleiner sein, als die Schwere der Belastung, der Ueberschuss der letzteren würde also wie eine Ueberlastung wirken. Die gebrauchten Wadenmuskeln werden durch 10 grm. um $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ mm. gedehnt; die kleinste wahrnehmbare Distanz zwischen Plättchen und Goldkuppe ist $\frac{1}{200}$ mm.; nehmen wir an man habe absichtlich zur Herstellung der Berührung den Muskel um das 5fache dieses kleinsten wahrnehmbaren Fehlers, also um $\frac{1}{40}$ mm. zu tief eingestellt, so entspräche dem eine Verminderung der Spannung von $\frac{1}{2}$ bis 1 grm. Der Einfluss dieses Fehlers würde bei Versuchen mit Ueberlastung das Resultat nicht merklich ändern, wie vorher bei den Fehlern aus Schwächung des Stromes gezeigt worden ist; er wird in unserm Falle wegen der langsamen Ansteigung der Spannung ein viel grösserer sein. Aus diesen Gründen ist es auf dem eingeschlagenen Wege unmöglich mit grösserer Genauigkeit zu erfahren, wann die erste Steigerung der Energie eintritt; zwei nicht zu beseitigende Fehlerquellen, Schwächung des Stroms und Ungenauigkeit der Einstellung streben das Resultat in entgegengesetztem Sinne zu verändern. Es wäre sogar möglich, dass die Energie gleich vom Augenblicke der Reizung an stiege, aber so langsam, dass sie z. B. in der Reihe I während des ersten Zeitraums von 0,0093 Sec. sich nur um etwa 1 grm. vermehrt hätte. Jedenfalls würde diese Ansteigung ganz unbedeutend sein im Vergleich zu der von 40 grm. in den folgenden 0,0036 Sec.

Wir dürfen uns daher über die Unregelmässigkeit der Zahlen bei Versuchen ohne Ueberlastung nicht wundern. Wir fanden folgende in Reihe I: 46,87; 35,25; 38,50; in Reihe II: 31,15; 32,43; 46,81; 39,00; in Reihe III: 38,7; 38,9. Ich will noch zwei Reihen hierhersetzen, in denen nur Versuche ohne Ueberlastung angestellt wurden.

Reihe IV.

Muskel von einem Frosche, der den Winter hindurch aufbewahrt worden war, und den ich vor dem Versuche durch 100 grm. gedehnt hatte. Ablenkung vorher 117,68, nachher 119,24. Die Sternchen zwischen den Zahlen bedeuten erneuerte Einstellung.

A. Keine Belastung ausser den Theilen des Apparats
Diff der Ausschläge: 50,82. * 45,92. 54,94.

B. Mit 50 grm. auf der Schaale eingestellt: 66,06.
67,15. * 51,34. 53,62. * 54,06.

Einige Versuche mit 100 grm. Belastung misslingen wegen Schwäche des Muskels.

C. Ohne Gewichte auf der Schaale: 44,47. 25,17.
45,91. * 39,27. 45,02.

D. Mit 50 grm. Belastung: 53,9. * 51,3. 44,7.

Als Folge der elastischen Nachwirkung ist hier zunächst die Höhe der ersten beiden Ziffern unter B zu bemerken, indem die Spannung gleich nach der neuen Dehnung des Muskels noch schnell nachlässt, ferner der Umstand dass anfangs nach jeder neuen Einstellung erst eine kleinere, dann eine grössere Zahl folgt. Nachdem der Muskel eine Zeitlang durch 50, dann durch 100 grm. gedehnt gewesen ist, verschwindet beides unter C und D. Die Zahl 25,17 unter C gehört zu denen, welche vermuthlich durch bedeutende Schwächung des Stromes so klein geworden sind; oder es ist hier zufällig gelungen, einen ungewöhnlich frühen Augenblick des Ansteigens der Kraft zu erhaschen.

Reihe V.

Muskel von einem während der Begattungszeit frisch gefangenen Frosche, sehr reizbar, aber verhältnissmässig schnell erschöpft, vor dem Versuch gedehnt durch 100 grm. Ablenkung vorher 118,23, nachher 119,77.

A. Ohne Belastung auf der Schaale: 34,1. * 39,3. * 48,2 * 41,7.

B. Mit 100 grm. Belastung. Der Muskel ist kurze Zeit durch 200 grm. gedehnt worden. 53,5. * 46,6. * 57,3 * 57,8.

C. Ohne Belastung: 42,5. * 20,9. * 63,4. * 56,5. * 56,0. * 59,1. * 66;1. Der Muskel ist erschöpft.

Der Ausschlag des Magnetes wächst in beiden Reihen bei der Erschöpfung des Muskels und bei höherer Belastung; ob dies nur wegen des grösseren Einflusses der Fehler der Einstellung geschieht, oder weil sich die zu messende Zeit wirklich verlängert, ist durch die Versuche nicht entschieden.

Wir fahren in der Erörterung der mechanischen Fehler fort, zunächst derer wegen Nachgiebigkeit der Theile des Apparates. Absolute Festigkeit besitzt kein irdischer Stoff; als feste bezeichnen wir vielmehr Körper von so grosser elastischer Kraft, dass ihre Gestalt nur durch Einwirkung sehr beträchtlicher fremder Kräfte merklich verändert werden kann. Diese Fehlerquelle erfordert deshalb besondere Aufmerksamkeit, weil sie, auch wenn die ganze Energie des Muskels im Augenblicke der Reizung sich entwickelte, bewirken könnte, dass der zeitmessende Strom erst nach einer gewissen kleinen Zeit unterbrochen würde, und zwar ganz wie in unseren Versuchsreihen um so später, je grösser die Ueberlastung. Indessen lässt sich beweisen, dass wir in unseren Schlüssen hierdurch nicht getäuscht worden sind. Um das zu thun, müssen wir zunächst untersuchen, wie und wie stark die Theile unseres Apparats durch die angehängten Gewichte gedehnt und gebogen werden. Die Kraft, wel

che vor der Zuckung den Aufhängungspunkt des Muskels herabzieht, und die oberen Zwischenstücke, bis zur Goldkuppe herab, dehnt, ist der ursprünglichen Spannung des Muskels d. h. der Belastung gleich, diejenige aber, welche es während der Zuckung thut, der Summe der Belastung und Ueberlastung. Während der Thätigkeit des Muskels wird also sein oberer Aufhängungspunkt sinken, und die oberen Zwischenstücke sich verlängern. Der Querbalken MM dagegen mit dem Goldplättchen, der vor der Zuckung durch die Schwere der Ueberlastung nach unten gebogen wurde, wird steigen, sobald er dieselbe nicht mehr zu tragen braucht. Die Grösse dieser Verschiebungen habe ich bei verschiedenen Belastungen der Metalltheile zu ermitteln gesucht; durch mikroskopische Beobachtung hätte ich solche von 0,01 mm. noch entdecken müssen, konnte aber bei 250 grm. Belastung keine wahrnehmen. Falls nun die Muskelkraft nicht langsam anstiege, wie wir es aus unseren Versuchen geschlossen haben, sondern sich im Moment der Reizung plötzlich änderte, würde das Gewicht von da an mit zunehmender Geschwindigkeit aufsteigen, die Metalltheile aber würden sich mit zunehmender Geschwindigkeit bis in ihre Gleichgewichtslage begeben, und über diese mit abnehmender hinausschwingen, könnten also, bis sie diese Lage erreicht haben, mit den vom Muskel gehobenen Stücken in Berührung bleiben, von da ab aber nicht mehr. Hierüber würde höchstens so viel Zeit vergehen, als der Muskel braucht, das Gewicht so hoch zu erheben, wie die Metalltheile nachgegeben haben. Wenn nun in der That auch der obere Befestigungspunkt des Muskels und das Goldplättchen auf dem Querbalken MM bei der Zuckung mit einer Ueberlastung von 240 grm. sich um 0,01 mm. näherten, so würde der Muskel unserer ersten Reihe, der mehr als 300 grm. heben konnte, nach der gestellten Annahme 240 grm. mit der Ueberkraft von wenigstens 60 grm., also auf die Höhe von 0,01 mm. in 0,0028 Sec. erhoben haben, wie sich aus den bekannten Gesetzen

des Falls berechnen lässt. Höchstens so gross hätte nach der gestellten Annahme die Dauer des zeitmessenden Stromes sein können; sie war aber in der That fast zehnmal grösser, nämlich 0,0273 Sec. Für kleinere Ueberlastungen werden die Unterschiede noch bedeutender, so sind die beiden entsprechenden Zahlen in demselben Beispiel für 120 gm: 0,0008 und 0,0187 Sec. Daraus geht hervor, dass wir in der That berechtigt waren, aus unseren Versuchen zu schliessen, die Energie des Muskels entwickle sich erst allmählig; es lässt sich aber auch nachweisen, dass die in unseren Messungen erhaltenen Zahlen durch die Nachgiebigkeit der Metalle nicht wesentlich gefälscht sind. Ich glaube die Annahme machen zu dürfen, dass im Allgemeinen die Zeit, während welcher die Muskelkraft ansteigt, für die Metalltheile hinreichend gross sein wird, um allmählig in ihre der Zusammenziehung des Muskels entsprechende neue Gleichgewichtslage überzugehen, da so starke an beiden Enden eingeklemmte Stäbe bei Schallschwingungen, wo sie äusserst hohe Töne geben, in sehr viel kürzerer Zeit aus der Lage der stärksten Abweichung in die des Gleichgewichts zurückkommen. Der Muskel wird sich dann im Moment des Abhebens ganz so verhalten, als wäre er um eben so viel zu tief eingestellt, wie die Metalltheile nachgegeben haben. Der hieraus entstehende Fehler würde gegen die übrigen unvermeidlichen Unregelmässigkeiten der Einstellung nicht in Betracht kommen.

Wir haben bis jetzt nur den Einfluss der Nachgiebigkeit der metallischen Theile besprochen, durch die der thierischen könnten ähnliche Fehler entstehen. Die Ausdehnbarkeit der kurzen Sehnenstücke ist zu gering, um in Betracht zu kommen; wenigstens konnte ich bei den angewendeten Belastungen keine Ausdehnung des gespannten Theils der Achillessehne um 0,01 mm. bemerken. Dagegen treten im Muskel selbst sichtbare Lagenveränderungen seiner Fasern ein, wenn seine Spannung wächst. Ist derselbe mit einer Belastung

aufgehängt, so können nicht sämtliche Fasern parallel und vertical verlaufen. Sie entspringen bekanntlich divergirend von der oberen in der Axe des Muskels verlaufenden Sehne, und steigen mehr oder weniger gekrümmt und mit den unteren Enden nach aussen gewendet zu der Achillessehne herab, von deren Ausbreitung das Muskelfleisch mantelartig umfasst wird.*) Die Form des Muskels wird sowohl durch die Spannung der Fasern ihrer Länge nach, als durch den Widerstand, den sie der Quere nach darbieten, bestimmt. Im natürlichen Zustande ist diejenige Seite desselben, welche dem fast graden Unterschenkelknochen anliegt, ebenfalls fast gerade, die äussere Seite dagegen stark gekrümmt. Je grössere Gewichte man anhängt, und jemehr man dadurch die Längsspannung der Fasern vermehrt, desto mehr streben sich die gekrümmteren der äusseren Seite zu strecken, und drängen die Substanz des Muskels nach der inneren Seite hinüber. Dasselbe geschieht, wenn seine Spannung durch Reizung vermehrt wird unter Umständen, wo er seine Länge nicht verändern kann; die Zuckung giebt sich dann dadurch zu erkennen, dass sich sein Mittelstück ein wenig nach der inneren Seite hin verschiebt. Da diese Bewegung durch die vermehrte Längsspannung der Fasern verursacht wird, muss ihr Erfolg sein, dass sie die Summe sämtlicher Faserlängen, also auch die sämtlicher Spannungen verringert. Dadurch wird die Abhebung des Gewichts ganz in derselben Weise verzögert, als wäre der Muskel um ein entsprechendes zu tief eingestellt worden. Um wieviel dieser Fehler die von uns gewonnenen Zahlen verändert hat, lässt sich schwer beurtheilen, bedeutend kann es deshalb nicht sein, weil die Verschiebungen des Muskels nach der Seite nur wenige Zehnthelle eines Millimeters betragen, und die da-

*) Vergl. bei E. du-Bois-Reymond die Abbildung des Längsschnitts eines Gastrocnemius des Frosches a. a. O. Bd. I. Tafel IV. Fig. 33.

durch bedingten Längenveränderungen der fast vertical verlaufenden Fasern nothwendig sehr viele Male kleiner sein müssen; daneben wird immer ein Theil der Fasern verlängert, wenn sich der andere verkürzt. Ausserdem fragt es sich noch, ob bis zu dem Moment, wo das Gewicht abgehoben wird, die vorhandenen Kräfte die Zeit gehabt haben werden, den Muskel in die neue Gleichgewichtslage überzuführen. Der Sinn, in welchem unsere Zahlen abgeändert worden sein können, ist offenbar der, dass die längeren Zeiträume im Verhältniss zu den kürzeren etwas zu lang gefunden sind.

Ich will in Bezug auf den besprochenen Umstand nur noch bemerken, dass wir auch durch ihn keineswegs in die Irre geführt worden sind, als wir behaupteten, die Energie des Muskels steige allmähig an, wie es vielleicht scheinen könnte, wenn man bei der gebogenen Muskelfaser an einen schlaffen Faden denkt, der erst gestreckt werden muss, ehe er ein Gewicht in die Höhe ziehen kann. Die Fasern sind von Anfang an gespannt; ihre Spannung vergrössert sich nicht durch eine äussere Ursache wie die des Fadens, dem keine grössere Spannung mitgetheilt werden kann, ehe er nicht gestreckt ist, sondern durch innere Molecularwirkungen, und ist während der Beugung nothwendig grösser als während der Streckung, wenn die Endpunkte unverändert bleiben. Es muss also auch der ganze Muskel, wie ich schon vorher auseinandergesetzt habe, vor der Aenderung seiner Gestalt eine grössere Zugkraft ausüben als nachher, und deshalb Gewichte, die er nachher noch heben kann, vorher um so viel eher heben. Gesetzten Falls also die Energie des Muskels entwickele sich plötzlich, so würde durch die besprochene Verschiebung der Fasern die Erhebung des Gewichts keinen Augenblick verzögert werden.

Wir kommen zu denjenigen Fehlern, welche dadurch entstanden sein könnten, dass die Aufhängungs- und Schwerpunkte der metallischen Zwischenstücke nicht ganz strenge in

einer Verticallinie liegen. Wenn der Schwerpunkt eines dieser Stücke nicht in der Verbindungslinie seiner beiden Aufhängungspunkte liegt, so wird sich im Allgemeinen weder diese Verbindungslinie noch die des oberen Aufhängungspunkts mit dem Schwerpunkt vertical richten, sondern die Verticale wird zwischen beide fallen, sich aber der ersteren desto mehr nähern, je mehr Gewichte am unteren Aufhängungspunkt hängen. Es würde also eines der oberen Zwischenstücke, welches einen solchen Fehler darböte, während es vom Muskel vertical nach oben gezogen wird, und die Summe der Belastung und Ueberlastung zu tragen hat, eine andere Neigung gegen den Horizont annehmen müssen, als es vorher hatte, wo es nur durch eine der Belastung gleiche Kraft gespannt wurde. Neben der verticalen würden also seitliche Bewegungen eintreten, durch welche die Unterbrechung des zeitmessenden Stroms verzögert werden müsste. Namentlich ist in dieser Beziehung das stromführende Zwischenstück zu beachten, weil dasselbe zwei verschiedene obere Aufhängungspunkte hat, nämlich die Goldkuppe *m* und die obere Stahlspitze *g*, und weil es wegen seiner beträchtlicheren Masse auch die grösseren Fehler hervorbringen würde. Während demnach alle aufgehängten Zwischenstücke möglichst genau symmetrisch gearbeitet werden mussten, habe ich diesem Stücke noch ausserdem die beiden auf feststehenden Schrauben beweglichen Muttern *xx* gegeben, wodurch die kleinsten merklichen Abweichungen des Schwerpunkts von der Verbindungslinie der Aufhängungspunkte ausgeglichen werden konnten. Die Prüfung geschah auf folgende Weise: Ich liess zunächst das Stück auf seiner oberen Stahlspitze *g* ohne Belastung der unteren hängen; dabei stellt sich die Verbindungslinie der Spitze *g* mit dem Schwerpunkt vertical. Dann wurde ein Mikroskop mit Fadenkreuz auf die Spitze *o* eingestellt. Wenn ich dagegen an der unteren Stahlspitze *l* eine beträchtliche Belastung aufhing, musste sich die Verbindungslinie der beiden Stahlspitzen nahehin vertical stellen.

Lag der Schwerpunkt nicht auch in dieser Linie, so musste sich dabei die Spitze *o* verschieben. Es war keine solche Verschiebung sichtbar. Ebenso fand ich, dass der Schwerpunkt in der Verbindungslinie des Mittelpunkts der Goldkuppe *m* mit der unteren Stahlspitze lag. Eine Verschiebung des Stücks um 3 Winkelminuten hätte bemerkt werden müssen. Nehmen wir auch an, es fände wirklich bei den Zeitmessungen eine Verstellung von dieser Grösse statt, so können dadurch die Resultate derselben nicht merklich verändert sein. Um wie in den früheren Fällen diesen Einfluss auf einen entsprechenden Fehler der Gewichte zurückzuführen, habe ich nach den bekannten Regeln der Statik fester Körper den Druck berechnet, welcher bei der angenommenen Grösse der Asymmetrie in dem Augenblicke an der Unterbrechungsstelle stattfinden würde, wo die Spannung des Muskels der Summe der Belastung und Ueberlastung gleich geworden ist. Dieser Druck würde in dem bezeichneten Augenblicke natürlich Null sein müssen, wenn keine Asymmetrie stattfände. Da die Rechnung weitläufig ist, und keine principiellen Schwierigkeiten darbietet, genüge es, hier ihr Resultat anzugeben. Es ergibt sich, dass der höchste Werth jenes Drucks einem sehr kleinen Bruchtheil eines Gramms gleich ist; der Einfluss der besprochenen Fehlerquelle verschwindet also gegen die unvermeidlichen Unregelmässigkeiten der Einstellung des Muskels.

Was schliesslich die Pendelschwankungen der aufgehängten Theile betrifft, welche uns bei dem am Ende von §. II. beschriebenen Controllversuche schwer zu beseitigende Störungen verursachten, so können sie die Erhebung des Gewichts ebenso gut beschleunigen als verzögern, also die Beobachtungen unregelmässig machen, aber ihre Mittelwerthe nicht verändern. Dass ihr Einfluss bei der Muskelzuckung ein viel geringerer ist, als in den genannten Controllversuchen, hauptsächlich wohl wegen der im Verhältniss

zu den Massen grösseren Kräfte, ergibt [sich aus der viel grösseren Regelmässigkeit der gefundenen Zahlen.

Stellen wir die besprochenen Fehlerquellen noch einmal nach der Art ihres Einflusses zusammen. Wir haben

1) Fehler, welche die Resultate unregelmässig machen, ohne die Mittelwerthe derselben zu verändern. Dazu gehören in den mit Ueberlastung angestellten Versuchen die Unregelmässigkeiten der Einstellung und die Pendelschwankungen der aufgehängten Theile.

2) Fehler, welche die Resultate unregelmässig machen, und dabei die Mittelwerthe entweder nur vergrössern, oder nur verkleinern. Zu ersteren gehören die der elastischen Nachwirkung, zu letzteren die der Stromleitung in der Unterbrechungsstelle. Beide afficiren sehr beträchtlich die Versuche ohne Ueberlastung, solche mit Ueberlastung wenig und zwar alle um fast gleiche Grössen, nur die mit den grössten und mit den kleinsten Ueberlastungen etwas mehr. Wie man sich gegen den Einfluss der elastischen Nachwirkung schützen könne, ist angegeben worden; dass er bei gehöriger Sorgfalt unmerklich werde, ergibt sich aus der Vergleichung von je zwei untereinander stehenden mit ungeänderter Einstellung und Ueberlastung ausgeführten Versuchen der Reihe II No. 1 bis 12, wo er bewirken würde, dass die zweite Zahl jedesmal grösser sein müsste, als die erste. Das ist aber nicht der Fall.

3) Fehler, welche die bei höheren Ueberlastungen gewonnenen Zahlen mehr vergrössern als die bei niedrigeren, und sich nicht in Unregelmässigkeiten der Einzelresultate zu erkennen geben. Das sind die wegen mangelnder Festigkeit der metallischen Theile und die wegen der Formveränderung des Muskels. Dass ihr Einfluss von unbeträchtlicher Grösse sei, habe ich zu zeigen versucht.

Die Unregelmässigkeit von Beobachtungen pflegt man durch den wahrscheinlichen Fehler derselben zu messen, d. h. durch diejenige Grösse, welche die Abweichungen der

einzelnen Beobachtungen vom Mittel bei einer hinreichend grossen Zahl derselben eben so oft übertreffen, als nicht erreichen. Die bisher gegebenen Versuchsreihen sind dazu nicht ausgedehnt genug; weiter unten finden sich aber solche wie z. B. Reihe IX, X, XI, in denen auch der wahrscheinliche Fehler jeder einzelnen Beobachtung nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung ermittelt und angegeben ist. Wir finden dort in Reihe X und XI A, wo nach je zwei Beobachtungen die Einstellung erneuert wurde, folgende Werthe dieser Grösse: 2,42, 1,61, 3,26, 3,10, 3,96, 1,84; Mittel: 2,70 in Scalentheilen; in Reihe XI B und IX, wo die Einstellung unverändert blieb, die durch sie bewirkten Unregelmässigkeiten also wegfielen: 2,23, 2,61, 1,31, 1,93; Mittel: 1,88. In der am besten gelungenen Reihe IX beträgt dieser Fehler in Secunden ausgedrückt 0,00030 und 0,00033, während die ganzen gemessenen Zeiträume eben daselbst 0,04394 und 0,04219 Sec. sind; eine Regelmässigkeit, wie sie nur irgend bei organischen Vorgängen zu erwarten ist.

§. IV.

Umstände, durch welche die Ansteigung der Energie verändert wird.

Wir haben bisher nur die Verhältnisse bei unveränderter ursprünglicher Belastung, bei möglichst unveränderter Reizbarkeit des Präparats und bei Anwendung kräftiger Reizmittel untersucht. Wenn der Muskel vor der Zuckung durch eine grössere Belastung gespannt, und mit derselben im Apparate eingestellt ist, so hebt er nicht mehr ganz so grosse Ueberlastungen von der Unterlage ab; seine Spannung wird also nach der Reizung weniger vermehrt, als bei geringerer Be-

lastung. Wird die Vermehrung der Spannung, wie wir es mit unseren bisherigen Versuchen gethan haben, durch eine Curve ausgedrückt, so liegt der Gipfel derselben demgemäss niedriger. Gleichzeitig ist die Höhe aller andern Ordinaten entsprechend vermindert; es dauert daher länger, ehe die gleiche Ueberlastung gehoben wird, weil dazu ein späteres Stadium der gesteigerten Energie nöthig ist. Ich führe dies als Resultate meiner Untersuchung an, ohne ausführlicher darauf einzugehen, weil für das Folgende nichts Weiteres darüber nöthig ist.

Ganz ähnlich wird die Curve durch die Erschöpfung der Reizbarkeit verändert; es sinken alle Ordinaten derselben, und zwar so weit es sich aus den Versuchen beurtheilen lässt, ungefähr proportional ihrer Grösse. In den Versuchen äussert sich das Sinken der Reizbarkeit dadurch, dass nicht mehr ganz so grosse Ueberlastungen gehoben werden, und dass es mit denen, welche noch gehoben werden, später geschieht, und zwar um ein desto Bedeutenderes später, je grösser sie sind. In den obigen Versuchsreihen sind diese Verhältnisse aus den späteren Versuchen einer jeden Reihe zu ersehen. Um Zeitwerthe zu erhalten, welche verschiedenen Ueberlastungen und einem gleichen Grade der Ermüdung entsprechen, kann man dasselbe Verfahren gebrauchen, wie Ed. Weber es für die Erhebungshöhen verschiedener Belastungen ausgeführt hat, nämlich das Mittel nehmen aus je zwei solchen Beobachtungen, welche gleichweit vor und hinter einem und demselben Zeitpunkte angestellt sind. So habe ich hier eine Tafel zusammengestellt aus den Beobachtungen der Versuchsreihe II; die obere Horizontalreihe enthält die Zeiträume für den unermüdeten Muskel aus No. 5 bis 12; die zweite die Mittelwerthe der Versuche 5 bis 18 dem Ermüdungsgrade von No. 11 und 22 entsprechend, die dritte dieselben von 11 bis 24, entsprechend der Ermüdung von 17 und 18. Leider lassen sich bei unseren jetzigen Versuchen nicht so ausgedehnte Zahlen-

reihen für verschiedene Ermüdungsgrade herstellen, wie es Ed. Weber für die Erhebungshöhen konnte, weil jede einzelne Beobachtung eine längere Zeit wegnimmt.

No. der Ver- suche.	Zeitdauer in $\frac{1}{100}$ Sec. für die Ueber- lastung.			
	0 gr.	50 gr.	100 gr.	150 gr.
5—12	0,73	1,28	1,68	2,10
5—18 ₁	0,73	1,35	1,88	2,51
17—24	0,86	1,53	2,24	2,92

Die diesen drei Ermüdungsstufen entsprechenden Anstiegscurven sind in Fig. 5 construiert; der Anblick derselben scheint zu lehren, was schon oben erwähnt ist, dass die Ordinaten der ganzen Curve sich ungefähr im Verhältniss ihrer Grösse verringern.

Ganz ähnlich ist der Erfolg, wenn man die Intensität des erregenden Stromes so weit schwächt, dass die Energie des Muskels merklich vermindert wird. Beginnt man mit sehr schwachen Strömen zu reizen, und nimmt dann immer stärkere und stärkere, so überzeugt man sich, dass mit der Verstärkung der Schläge anfangs auch das Gewicht, welches der Muskel von der Unterlage abheben kann, und die Höhen, bis zu welchen er gleiche Gewichte erhebt, sich vergrössern, dass aber bald ein Maximum in beiden Beziehungen eintritt, über welches hinaus die Wirkung auch durch die heftigsten momentanen Schläge nicht mehr gesteigert werden kann. Wir haben bisher immer mit Schlägen gearbeitet, welche hinreichend gross waren, das Maximum der Reizung hervorzubringen. So lange sie diese Bedingung erfüllen, kann man ihre Intensität beliebig ändern, ohne dass dadurch die Ergebnisse der Zeitmessungen verändert würden. Wenn wir aber Schläge anwenden, welche das Maximum der Wirkung nicht erreichen lassen, so sinken die Ordinaten unserer Kräftecurve ganz in derselben Weise, als wenn sie durch grössere Belastung oder durch Ermüdung des Muskels vermindert wor-

den wären. Es sind demgemäss die Ausschläge des Magnetes für gleiche Ueberlastungen desto grösser, je geringer die Intensität dieser Schläge ist.

Ich will statt der vielen einzelnen hierher gehörigen Erfahrungen, welche sich im Laufe meiner Messungen eingestellt haben, hier nur eine Reihe derselben anführen, die ich absichtlich zur Erörterung dieses Verhältnisses angestellt habe.

Reihe VII.

Angestellt mit einem Muskel, der schon zu anderen Versuchen gedient hatte. Ueberlastung 100 grm.; Reizung vom Nerven aus. In der zweiten Rubrik der folgenden Tafel ist die Entfernung der einander zugewendeten Flächen der inducirenden Spiralen in Centimetern angegeben. Je grösser diese Entfernung, desto schwächer sind die Ströme, und zwar nehmen diese in einem viel stärkeren Verhältnisse ab, als jene wächst. In der dritten Rubrik sind die Höhen angegeben, bis zu welchen der Muskel das Gewicht gehoben hat, um zu zeigen, wie diese Höhen abzunehmen anfangen, sobald die Zeitdauer oder die ihr proportionale Differenz der Ausschläge zunimmt. Wie die Höhen gemessen sind, wird im nächsten Paragraphen beschrieben werden. — Ablenkung durch den getheilten Strom: 115,7.

No.	Entfernung der Spiralen.	Erhebungshöhe.	Differenz der Ausschläge.
1	4	2,1	66,17
2	4	2,1	64,07
3	5	2,1	61,10
4	5	2,1	65,27
5	6	2,1	61,25
6	7	1,5	67,72
7	7	1,6	83,42
8	7	0,6	80,00
9	6,5	2,2	60,30
10	6,5	2,2	58,75
11	2	2,2	59,05
12	2	2,2	67,67

Bei Fortsetzung des Versuchs nahmen die Ausschläge wegen eintretender Ermüdung schnell zu. Während die Spiralen von 6,5 Ctm. Entfernung auf 2 genähert wurden, veränderten sich, wie man sieht, weder die Erhebungshöhen noch die Differenzen der Ausschläge merklich; dagegen sinken die ersteren und steigen die letzteren bei 7 Ctm. Entfernung. Die Wirkung der schwachen Schläge ist bald grösser, bald kleiner, weil die von der Schnelligkeit der Unterbrechung des primären Stromes abhängigen elektrischen Prozesse sehr unregelmässig verlaufen. Diese Schnelligkeit variirt nämlich, weil sie theils von der Stärke, mit der der Schliessungsstab auf die Wippe aufgesetzt wird, theils von der Form der Metalle an der Unterbrechungsstelle der Wippe abhängt, und letztere sich bei jeder andern Unterbrechung dadurch ändert, dass metallische Theilchen durch den Funken fortgeführt werden. Uebrigens sind die Ströme, welche das Maximum hervorzurufen genügen, so schwach, dass sie schwerlich durch ein anderes physikalisches Hülfsmittel, als eben durch ihre Wirkung auf den Nerven, zu entdecken sein würden.

§. V.

Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenreizung.

Wir haben bis jetzt die Muskeln durch elektrische Strömungen zur Zusammenziehung gebracht, welche durch ihre eigene Substanz hindurchgingen. Wir werden nun den Muskel vom Nerven aus erregen. Die Art, auf welche ich den erregenden Strom zum Nerven hingeleitet habe, ist oben beschrieben und in Fig. 2. dargestellt worden. Wenn man Messungen über die Zeit anstellt, welche zwischen der Reizung des Nerven und der Erhebung der Ueberlastung durch den Muskel vergeht, stellt sich heraus, dass sie von der Stelle des Nerven abhängig ist, auf welche man den elektrischen Schlag einwirken lässt, und zwar desto grösser, ein je grösseres Stück des Nerven sich zwischen der gereizten Stelle und dem Muskel befindet. Der Versuch kann, ohne die Glocke abzuheben, beliebig oft hintereinander angestellt werden, wenn man von den vier Leitungsdrähten, zwei etwa 2 bis 3 Linien von einander entfernt an den Nerven dicht bei seinem Eintritt in den Muskel anlegt, die zwei andern dagegen ebenso weit von einander entfernt an den Beckentheil des Nerven. Ich habe es vortheilhaft gefunden, diese zweite Stelle nicht ganz bis an das abgeschnittene Ende des Hüftgeflechts hin zu verlegen, sondern nur ungefähr bis zu dem Orte, wo sich die Fäden dieses Geflechts zum Stamme des Hüftnerven vereinigen, weil die äussersten abgeschnittenen Enden verhältnissmässig schnell leistungsunfähig werden. Je nachdem man nun das erste oder zweite Paar der Leitungsdräthe mit der inducirten Spirale in Verbindung setzt, wird die dem Muskel nähere oder entferntere Nervenstelle vom Strome getroffen. Vergleichende Messungen, welche übrigens wie die bisher besprochenen ausgeführt werden, ergeben, dass die Ausschläge des Magnetes

durch den zeitmessenden Strom im Durchschnitt 5 bis 7 Scalentheile grösser sind, wenn man die entferntere Stelle des Nerven reizt, als wenn es mit der dem Muskel näheren geschieht.

Offenbar kann dieser Unterschied nicht bedingt sein durch irgend eine der früher besprochenen Fehlerquellen, welche in den mechanischen und elektrischen Vorgängen unserer Messungsmethode ihren Grund haben, weil alle diese die Versuche mit Reizung der entfernteren und der näheren Nervenstelle ganz gleichmässig afficiren. Den Grund müssen vielmehr die Vorgänge innerhalb des Nerven selbst abgeben. So weit die bisherigen physiologischen Erfahrungen reichen, sind die Wirkungen auf den Muskel ganz die gleichen, welche Stelle des Nerven man auch reizen möge, höchstens findet man unter gewissen Bedingungen, dass Reizung der entfernteren Stelle schwächer wirkt, als die der näheren, indem das Absterben der Muskelnerven nach der schon von Valli und Ritter ausgesprochenen Erfahrung vom centralen Ende anfängt, und gegen den Muskel hin fortschreitet.*) Nach den Zeitmessungen, welche wir an ermüdeten Muskeln angestellt und in dem vorigen Abschnitt dargelegt haben, würde in der That die schwächere Reizung von der entfernteren Stelle des Nerven her den gleichen Grad der Energie des Muskels später zur Entwicklung bringen, als die stärkere von der näheren aus. Wir werden daher auf diesen Umstand besondere Aufmerksamkeit verwenden, und uns versichern müssen, dass der Grad der Reizung von beiden Stellen her der gleiche sei. Wenn dies der Fall ist, werden die Versuche ergeben, dass, welche Stelle des Nerven man auch reizen möge, sich die entsprechenden Stadien der Energie einander in genau den gleichen Zeiträumen folgen, dass aber die Zwischenzeit zwischen einem jeden dieser Sta-

*) E. du Bois-Reymond, Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 321 ff.

dien und der Reizung um ein bestimmtes grösser ist, wenn die gereizte Stelle weiter vom Muskel entfernt ist. Wenn wir also das Steigen und Sinken der Energie für zwei verschiedene Nervenstellen durch eine Curve ausdrücken, so ist diejenige, welche der Reizung der entfernteren Stelle entspricht, der andern congruent, aber zwischen ihrem Anfang und dem dem Moment der Reizung entsprechenden Punkte liegt ein grösseres Stück der Abscissenlinie. Aus der Art des zeitlichen Verlaufs, den uns die Wirkungen der Reizung im Muskel darbieten, können wir aber einen Rückschluss auf den Verlauf der entsprechenden meist noch unbekanntem Vorgänge im Nerven machen. Es ist klar, dass die Wirkungen der Reizung in den Verzweigungen des Nerven innerhalb des Muskels ebenfalls nach Reizung der entfernteren Stelle zwar später eintreten, aber ganz eben so verlaufen müssen, wie nach der näheren. Da nun Dauer und Stärke der erregenden elektrischen Strömung in beiden gereizten Stellen ganz die nämlichen sind, so kann die Verzögerung der Wirkung nur darauf beruhen, dass eine Zeit vergeht, ehe sich dieselbe von der entfernteren Stelle bis zum Muskel hin fortpflanzt. Wir sind also durch diese Versuche in den Stand gesetzt, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den motorischen Nerven des Frosches zu ermitteln, wenn man dabei unter Reizung diejenigen Vorgänge im Nerven versteht, die sich in Folge einer erregenden äusseren Einwirkung in ihm entwickeln.

So lange die Physiologen die Nervenwirkungen auf die Verbreitung eines imponderablen oder psychischen Princip zurückführen zu müssen meinten, mochte es unglaublich erscheinen, dass die Geschwindigkeit dieses Stromes innerhalb der kurzen Entfernungen des thierischen Körpers messbar sein sollte. Gegenwärtig wissen wir aus den Untersuchungen über die elektromotorischen Eigenschaften der Nerven von du Bois-Reymond, dass diejenige Thätigkeit derselben, durch welche die Fortleitung einer Reizung vermittelt

wird, mit einer veränderten Anordnung ihrer materiellen Moleküle mindestens eng verbunden, vielleicht sogar wesentlich durch sie bedingt ist. Danach würde die Leitung im Nerven in die Reihe sich fortpflanzender Molekularwirkungen der ponderablen Körper gehören, zu denen z. B. die Schalleitung in der Luft und in elastischen Stoffen oder das Abbrennen einer mit explodirender Mischung gefüllten Röhre zu rechnen ist. Bei dieser Sachlage kann es nicht mehr so überraschend sein, dass die Geschwindigkeit der Leitung nicht nur messbar, sondern wie sich ergeben wird, sogar sehr mässig ist. Uebrigens darf die Unmöglichkeit, bei den täglichen Sinneswahrnehmungen unseres eigenen Körpers oder bei physiologischen Versuchen über Muskelzuckungen einen hierher gehörigen Zeitunterschied wahrzunehmen, uns nicht befremden, da die Unterschiede, welche wir zwischen Empfindungen verschiedener Nervenfasern unserer Sinnesorgane mit Sicherheit beobachten können, nicht viel kleiner sind als eine Secunde. Ich erinnere nur daran, dass die geübtesten Astronomen in der vergleichenden Beobachtung von Gesichts- und Gehörwahrnehmungen um eine ganze Secunde differiren.

Nach diesen Bemerkungen gehen wir zur thatsächlichen Beweisführung über. Zunächst stösst uns die schon berührte Schwierigkeit auf zu controlliren, dass die mechanische Wirkung der Reizung von der entfernteren Stelle des Nerven her mit der von der näheren gleich gross sei. Die Grösse der Spannung, welche sich nach der Reizung im Muskel entwickelt, würde unserm bisherigen Verfahren gemäss durch die höchste Ueberlastung zu messen sein, welche der Muskel von der Unterlage abheben kann. Indessen würden zu diesem Zwecke viele besondere Zuckungsversuche zwischen die zeitmessenden eingeschaltet werden müssen, wobei Kraft des Muskels und Zeit unnöthig verloren ginge. Ein anderes Mittel bietet sich dar, welches bei jeder einzelnen Zuckung neben der Zeitmessung ausgeführt werden kann, nämlich die

Messung der Höhe, bis zu welcher das angehängte Gewicht erhoben wird. Bei verminderter Reizbarkeit oder nach einer schwächern Reizung, hebt nämlich, wie wir schon früher erwähnt haben, der Muskel im Allgemeinen dasselbe Gewicht zu einer geringeren Höhe. Diese Art, die gleichbleibende Stärke der Reizung zu controlliren, hat sich als ausreichend erwiesen. Wenn wir in einer der folgenden Versuchsreihen solche Beobachtungen nach einander durchsehn, bei denen dieselbe Nervenstelle gereizt wurde, so finden wir namentlich bei höheren Ueberlastungen sogar merkliches Abnehmen der Erhebungshöhen wegen allmäliger Ermüdung des Präparats, ohne dass sich die Resultate der Zeitmessungen merklich verändern. Nur bei krampfhaften andauernden Zusammenziehungen, wie sie in Reihe I beschrieben sind, lässt sich der Grad der Reizung nicht durch die Erhebungshöhen controlliren, dabei kann man aber überhaupt keine guten Versuche anstellen. Die Messung der Höhe wurde in folgender Weise ausgeführt. An der unteren Seite des Querbalken MM, welcher das Goldplättchen trägt, wurde ein sehr leichtes zweiarmiges 72 mm. langes Hebelchen von Holz mittelst einer Nähnadel als Axe befestigt. Das eine Ende des Hebelchens lag auf der Spitze i des stromführenden Zwischenstücks auf, das andere trug eine feine Drahtspitze, deren verticale Erhebung durch ein kleines Mikroskop bis auf $\frac{1}{20}$ mm. gemessen werden konnte. Die Axe des Hebelchens lag mit leichter Reibung zwischen zwei Brettchen in entsprechenden Rinnen derselben. Der Grad der Reibung konnte durch das Anziehen oder Nachlassen von vulkanisirten Kautschuckstreifen, welche die Brettchen aneinander hielten, verändert werden. Er musste grade gross genug sein, um zu verhindern, dass das Hebelchen, wenn es angestossen wurde, vermöge seines Beharrungsvermögens sich weiter bewegte, als es unmittelbar durch die berührende Spitze verschoben war. Bei der grossen Leichtigkeit desselben konnte übrigens die Reibung so gering sein, dass sie der

Kraft des Muskels keinen merklichen Widerstand entgegengesetzte. Wird das stromführende Zwischenstück mit den Gewichten durch den Muskel gehoben, so steigt gleichzeitig die Spitze *i* berührende Ende des Hebelchens, und bleibt in der Stellung stehen, in welche es durch die höchste Erhebung der Spitze *i* versetzt worden ist. Die Grösse der Verschiebung wird am andern Ende beobachtet und gemessen. Letzteres geschah bei den nun folgenden Zuckungsversuchen durch einen Gehülfen, während ich selbst die Bewegung des Magnetes behufs der Zeitmessung mit dem Fernrohr beobachtete.

Allerdings würde das angegebene Verfahren mancherlei Einwürfe erleiden können, wenn es sich darum handelte, die absoluten Werthe der Erhebungshöhen zu erfahren; für unseren Zweck stören seine Mängel nicht, da sie jedenfalls die Versuche für beide Nervenstellen gleich beeinträchtigen.

Theils aus denjenigen Versuchsreihen, welche zum Zwecke der Zeitmessung angestellt wurden, theils aus anderen, in denen ich nur die Reizungsverhältnisse der beiden Nervenstellen untersuchte, ergab sich Folgendes. Im Anfang sind letztere beide gleich empfindlich, d. h. gleiche elektrische Strömungen bedingen von beiden aus gleich kräftige mechanische Wirkungen; es sind sowohl die Erhebungshöhen gleicher Gewichte, als die höchste zu hebende Ueberlastung gleich. Namentlich ist also auch diejenige Stromstärke für beide gleich, welche genügt, um das Maximum der Erregung hervorzubringen. Sobald eine grössere Anzahl von Reizversuchen angestellt worden ist, pflegt die dem centralen Ende des Nerven zunächst liegende Stelle unempfindlicher zu werden, d. h. es werden kräftigere Ströme nöthig, um das Maximum der Erregung herbeizuführen, aber die mechanischen Wirkungen der Reizung, sowohl die Erhebungshöhen beliebiger gleicher Gewichte, als auch die höchste zu hebende Ueberlastung sind für dieses Maximum der Erregung beider Stellen vollkom-

men gleich. Es ist also die mechanische Wirkung für gleiche erregende Ströme unter diesen Umständen gleich, wenn sie stark genug sind, das Maximum der Erregung auch in der entfernteren Nervenstelle zu bedingen, ungleich wenn dies nicht der Fall ist. Je mehr die Reizbarkeit sinkt, desto grösser pflegt der Unterschied zwischen den Strömen zu werden, welche genügen in der näheren das Maximum hervorzurufen, und denen, welche es in der ferneren thun. Nur bei den Präparaten sehr entkräfteter Thiere oder in den letzten Stadien der Erschöpfung der Nerven kommt es dahin, dass das Maximum der Erregung von der ferneren Stelle aus kleiner wird, als das von der näheren, so dass man, um gleiche mechanische Wirkungen hervorzubringen, die letztere mit Strömen behandeln muss, welche das Maximum nicht erreichen lassen. Als ich im Winter meinen vorläufigen Bericht an die Akademien abschickte, hatte ich mit Thieren experimentirt, die durch viermonatliche Gefangenschaft und Hunger entkräftet waren, und damals war mir der zuletzt bezeichnete Fall häufiger vorgekommen, so dass ich die Vorschrift gab, erforderlichenfalls auf beide Stellen ungleiche Ströme einwirken zu lassen. Ich habe mich seitdem an frisch gefangenen Fröschen überzeugt, dass man in der Regel nicht genöthigt ist, sich auf diese Weise zu behelfen, und dass man wohl thut, überhaupt nur mit solchen Präparaten zu experimentiren, bei denen die Maxima der Erregung von beiden Stellen her gleich sind, weil die Versuche mit Strömen, welche nicht das Maximum erreichen lassen, aus den schon früher angeführten Gründen viel unregelmässiger ausfallen, als diejenigen, in denen es eintritt. Wohl aber ist es zur Erhaltung der Reizbarkeit von Vortheil, auf jede der beiden Stellen keinen stärkeren Strom einwirken zu lassen, als für das Maximum der Reizung gerade nöthig ist, welche Ströme nach dem oben Gesagten oft verschieden sind. Das ist in einigen der folgenden Versuchsreihen geschehen.

Dass die Nerven gegen gleiche, aber entgegengesetzt ge-

richtete Ströme ungleich empfindlich sind, ist bekannt. Auch dieser Unterschied beschränkt sich darauf, dass zur Erreichung des Maximums der Reizung verschieden starke Ströme nöthig sind, übrigens sind die mechanischen Wirkungen vollkommen gleich, sobald nur die Maxima erreicht werden. Ich habe zweimal bei Präparaten, welche schon eine Zeitlang gearbeitet hatten, den Fall beobachtet, dass für die eine Stromesrichtung die entferntere Stelle des Nerven zur Erreichung des Maximums der Reizung einen schwächeren Strom erforderte, als die nähere, für die andere einen stärkeren, was vielleicht durch die vorausgegangenen Reizungen der näheren Stelle bedingt war. Den einen dieser Fälle habe ich zu einigen Zeitmessungen benutzt, welche unten angeführt werden sollen. Wir entnehmen daraus den augenscheinlichsten Beweis, dass die Verzögerung der mechanischen Wirkung von der entfernteren Stelle aus nicht durch die geringere Empfindlichkeit derselben bedingt ist; die letztere war ja hier für die angewendete Stromesrichtung im Gegentheil größer. Den anderen Fall benutzte ich zu weiteren Versuchen über die Reizungsverhältnisse, und will ihn hier anführen.

Versuchsreihe VIII.

Der Wadenmuskel eines frisch gefangenen Frosches hatte im Anfang bei absteigender Stromesrichtung und 5,5 Ctm. Entfernung zwischen den inducirenden Spiralen das Maximum erreicht, und als höchstes Gewicht 490 gm. gehoben, war dann zu einigen Zeitmessungsversuchen gebraucht worden, welche wegen schnell abnehmender Reizbarkeit kein genaues Resultat gaben.

Bei 300 gm. Belastung und Reizung, durch absteigende Ströme trat das Maximum von der entfernteren Stelle aus bei einer Entfernung von 5 Ctm. ein, die Erhebungshöhe war 0,3 mm.; bei 6 Ctm. Entfernung hob der Muskel noch, aber so wenig, dass die Erhebung nicht mehr gemessen werden konnte. Darauf von der näheren Nervenstelle aus ge-

reizt, erlangte der Muskel erst bei einer Annäherung der Spiralen auf 4 Ctm. das Maximum, bei 5 Ctm. hob er jetzt gar nicht mehr. Die Erhebungshöhe war gesunken auf 0,2 mm. Schliesslich ergab sich, dass von der entfernteren Stelle aus auch jetzt noch bei 5 Ctm. Entfernung das Maximum eintrat, die Erhebungshöhe aber auf 0,15 mm. gesunken war. Darauf wurde untersucht, ob bei einer viel geringeren Belastung von 20 grm. die Verhältnisse eben so seien. Das Maximum wurde erreicht bei Reizung von der entfernteren Stelle zwischen 5 und 6 Ctm. bei etwa 5,5 Entfernung, bei Reizung der näheren erst zwischen 4 und 5 Ctm. Jede Wirkung verschwand im ersten Falle bei 6,5, im zweiten bei 6 Ctm. Zwischen der letzteren Entfernung und derjenigen, wo das Maximum der Reizung erreicht wurde, nahm die Erhebungshöhe, die 2,25 bis 2,50 mm. betrug, allmähig zu.

Hierauf wurde untersucht, ob sich während dieser Versuche mit 20 grm. Belastung die Verhältnisse für hohe Belastungen nicht geändert hätten. Es wurden 200 grm. aufgelegt.

1) Bei absteigendem Strom Reizung von der entfernteren Nervenstelle.

Maximum der Wirkung bei 5,5.

Verschwinden derselben bei 6,5.

2) Bei Reizung von der näheren Stelle

Maximum der Wirkung bei 4,5.

Verschwinden derselben bei 6,0.

3) Bei aufsteigendem Strom von der entfernteren Stelle wie vorher.

Maximum der Wirkung bei 5,5.

Verschwinden derselben bei 6,5.

4) Dagegen von der näheren Stelle

Maximum zwischen 5,5 und 6,0.

Verschwinden bei 10,2.

Nach Beendigung dieser Versuche war das höchste zu hebende Gewicht für alle Combinationen 292 grm.

In diesem Falle war also die entferntere Nervenstelle gegen beide Stromesrichtungen gleich empfindlich, die nähere gegen den aufsteigenden Strom empfindlicher als jene, gegen den absteigenden unempfindlicher. Sonderbarerweise war in dem anderen, später noch anzuführenden Falle, die nähere Nervenstelle gegen beide Richtungen gleich empfindlich, die entferntere für den absteigenden empfindlicher als jene, für den aufsteigenden unempfindlicher. Worauf dieser Unterschied beruhe, weiss ich nicht.

Ich lasse nun hier aus der grösseren Zahl meiner Versuchsreihen, welche alle dasselbe Resultat mit grösserer oder geringerer Genauigkeit gegeben haben, diejenigen folgen, welche wegen ihrer Ausdehnung oder wegen der Uebereinstimmung der einzelnen Beobachtungen am zuverlässigsten zu sein scheinen. Zur Reizung sind stets Ströme gebraucht worden, welche das Maximum der Erregung herbeiführten. Dass dies der Fall war, wird durch die gleichzeitig beobachteten Erhebungshöhen, welche in Millimetern angegeben sind, controllirt.

Die Reihen sind nach verschiedenem Plane angelegt. In einigen sind sämmtliche Beobachtungen mit derselben oder nur zwei verschiedenen Ueberlastungen angestellt, um möglichst ausgedehnte Zahlenreihen zur Berechnung des Werthes desjenigen Zeitunterschiedes zu erhalten, auf welchen es hier ankommt. Für diese habe ich die Mittelwerthe der Zeitdauer zwischen Reizung und Wirkung des Muskels für beide Nervenstellen, deren Unterschied, welcher der Zeit der Fortpflanzung durch den Nerven entspricht, und ausserdem zur Beurtheilung der Genauigkeit die wahrscheinlichen Fehler aller dieser Grössen nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung berechnet. *)

*) Für diejenigen meiner Leser, welchen die Begriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung nicht geläufig sind, bemerke ich hier, dass z. B.

Bei andern Versuchsreihen sind die Ueberlastungen möglichst oft gewechselt, um nachzuweisen, dass die verschiedenen Stadien der Energie des Muskels gleichmässig verzögert eintreten, wenn man von der entfernteren Nervenstelle aus den Reiz wirken lässt, die Form der Ansteigung der Energie aber nicht geändert wird. Die wenigen Versuche, welche bei jeder Ueberlastung angestellt worden sind, können natürlich nicht so genaue Werthe der von der Nervenleitung herrührenden Unterschiede geben, als längere Reihen; deshalb sind die einzelnen Mittel der Differenz oft ziemlich abweichend von einander. Doch sind ihre grösseren und kleineren Werthe ganz unregelmässig vertheilt, und die für verschiedene Ueberlastungen weichen nicht mehr von einander ab, als die bei derselben Ueberlastung in wiederholter Beobachtung gefundenen. Daraus geht hervor, dass die Grösse der Differenz nicht merklich von der Grösse der Ueberlastung abhängt, wie es so entschieden der Fall ist, wenn die Ausschläge des Magnetes durch Abnahme der Reizung grösser werden.

Endlich ist noch nach jeder Versuchsreihe die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven berechnet. Dazu muss man die Länge der durchlaufenen Nervenstrecke kennen, d. h. die Entfernung der dem Muskel zugewendeten

die Angabe in der neunten Versuchsreihe, der Werth des Zeitunterschieds wegen der Fortpflanzung sei 0,00175 Secunden mit dem wahrscheinlichen Fehler $\pm 0,00014$, nach einem populären Ausdrücke bezeichne, es sei 1 gegen 1 zu wetten, dass der wahre Werth dieser Differenz zwischen 0,00189 und 0,00161 Secunden liege. Es ist ferner 10 gegen 1 zu wetten, dass die Abweichung höchstens 2,5 mal, 100 gegen 1, dass sie höchstens 3,8 mal, 1000 gegen 1, dass sie 4,8 mal so gross sei, als der wahrscheinliche Fehler. Der Werth liegt also mit der Wahrscheinlichkeit

1	gegen 1	zwischen	0,00189	und	0,00161
10	- 1	-	0,00210	-	0,00140
100	- 1	-	0,00228	-	0,00122
1000	- 1	-	0,00242	-	0,00108

Endpunkte der beiden gereizten Nervenstellen von einander. Diese Länge ist leider wegen der grossen Dehnbarkeit des Nerven eine sehr unsichere. Ist der Nerv gar nicht gedehnt, so sind seine Fasern wellenförmig gebogen; ich habe ihn stets so weit gespannt, um die Länge zu messen, bis die queren atlasartigen Streifen seiner Oberfläche verschwanden, in der Voraussetzung, dass die Fasern dann ungefähr gerade verlaufen würden. Es bleiben dabei aber immer einige Millimeter dem Gutdünken überlassen. Uebrigens würde es auch noch nicht lohnen, eine bessere Messungsmethode auszumitteln, da die Unsicherheiten der Zeitmessung verhältnissmässig viel grösser sind als die der Längenmessung. Es darf deshalb nicht befremden, wenn die gefundenen Werthe der Fortpflanzungsgeschwindigkeit noch ziemlich beträchtlich von einander abweichen.

Reihe IX.

Am 6ten Januar mit dem Muskel eines vier Monate aufbewahrten Frosches angestellt. Durch beide Stellen des Nerven wird der gleiche Strom geleitet, die Entfernung derselben ist 43 mm. Einstellung des Muskels ungeändert; Ablenkung vorher 121,24, nachher 118,61, im Mittel 119,97.

No.	Ueberlastung.	Erhebungshöhe.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der entfernteren näheren Nervenstelle.	
1	180	0,88	186,83	
2	—	0,87	189,71	
3	—	0,83		180,66
4	—	0,82		181,83
5	—	0,80	190,79	
6	—	0,80	189,99	
7	—	0,80		186,62
8	—	0,80		182,09

No.	Ueberlastung.	Erhebungshöhe.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der entfernteren näheren Nervenstelle.	
9	180	0,78	193,06	
10	—	0,78	193,94	
11	—	0,77	191,85	
12	—	0,72		186,38
13	—	0,70		182,43
14	—	0,70		184,20
15	—	0,68	192,80	
16	—	0,65	190,64	
17	—	0,65		186,27
18	—	0,65		181,87
19	—	0,65	190,89	
20	—	0,65	191,14	
21	—	0,65		181,58
22	—	0,65		183,96
Mittel			191,13	183,44
Wahrscheinlicher Fehler des Mittels			$\pm 0,39$	$\pm 0,42$
Derselbe der einzelnen Beobachtung			$\pm 1,31$	$\pm 1,39$
Zeitdauer zwischen Reizung und Erhebung des Gewichts			0,04394	0,04219
Wahrscheinl. Fehler derselben . .			0,00009	$\pm 0,00010$

Daraus bestimmt sich endlich

der Zeitunterschied wegen der Fortpflanzung: 0,00175
 $\pm 0,00014$

die Fortpflanzungsgeschwindigkeit: 24,6 \pm 2,0 Mt. in
 der Sekunde.

Reihe X.

Am 29sten Decb. mit den Muskeln eines seit vier Monaten aufbewahrten Frosches angestellt. Durch die entferntere Nervenstelle wird ein stärkerer Strom geleitet, der durch die sich berührenden Spiralen erzeugt wird, durch die nähere ein schwächerer bei $2\frac{1}{2}$ Ctm. Abstand der Spiralen. Nach je zwei Beobachtungen wird der Muskel neu eingestellt.

A. Rechter Muskel. Nervenstrecke 40 mm. Ablenkung vorher 116,09, nachher 112,45, im Mittel 114,27.

No.	Ueberlastung.	Erhebungshöhe.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der	
			entfernteren Nervenstrecke.	näheren
1	20 gr.	1,19	100,69	
2	—	1,22	96,15	
3	—	1,22		93,92
4	—	1,15		97,19
5	—	1,10	97,70	
6	—	1,10	104,33	
7	—	1,17		93,87
8	—	1,12		92,27
9	—	1,15	106,43	
10	—	1,15	101,74	
11	—	1,12		98,00
12	—	1,17		98,60
13	—	1,12	96,81	
14	—	1,10	103,99	
Mittel			100,98	95,64
Wahrscheinl. Fehler des Mittels			$\pm 0,86$	$\pm 0,66$
Derselbe der einzelnen Beobachtung			$\pm 2,42$	$\pm 1,61$
Zeitdauer in Secunden von der Reizung bis zur Erhebung			0,02437	0,02307
Wahrscheinl. Fehler derselben			$\pm 0,00020$	$\pm 0,00016$
Zeitunterschied wegen der Fortpflanzung:			0,00130 \pm 0,00027	
Fortpflanzungsgeschwindigkeit:			30,8 \pm 6,4 Mt.	

B. Linker Muskel; Nervenstrecke 40 mm.; Ablenkung vorher 113,05, nachher 112,20, im Mittel 112,62.

No.	Ueberlastung.	Erhebungshöhe.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der	
			entfernteren	näheren
			Nervenstrecke.	
15	100	0,65	128,14	
16	—	0,70	133,40	
17	—	0,72		132,06
18	—	0,70		118,19
19	—	0,68	125,75	
20	—	0,68	119,80	
21	—	0,70		119,84
22	—	0,68		120,71
23	—	0,68	127,77	
24	—	0,68	133,53	
25	—	0,68		130,35
26	—	0,70		123,21
27	—	0,70	136,89	
28	—	0,75	129,28	
29	—	0,72		123,58
30	—	0,77		125,29

Mittel	129,25	124,15
Wahrscheinl. Fehler des Mittels .	$\pm 1,15$	$\pm 1,09$
Derselbe der einzelnen Beobachtung	$\pm 3,258$	$\pm 3,097$
Zeitdauer zwischen der Reizung und der Erhebung des Gewichts	0,03164	0,03039
Wahrscheinl. Fehler derselben .	$\pm 0,00027$	$\pm 0,00026$
Zeitunterschied wegen der Fortpflanzung:	0,00125 \pm 0,00038	
Fortpflanzungsgeschwindigkeit:	32,0 \pm 9,7 Mt.	

Reihe XI.

Am 4ten Januar mit einem Muskel eines vier Monate aufbewahrten Frosches angestellt. Durch die entferntere Ner-

venstelle ein stärkerer Strom. Länge der Nervenstrecke: 43 mm.

A. Bei jedem Wechsel der Nervenstelle wird neu eingestellt. Ablenkung vorher 121,04, nachher 119,13, im Mittel 120,08.

No.	Ueberlastung.	Erhebungshöhe.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der	
			entfernteren	näheren
			Nervenstelle.	
1	100	1,83	116,89	
2	—	1,83	118,97	
3	—	1,88		105,82
4	—	1,81		108,63
5	—	1,78	109,37	
6	—	1,73	108,87	
7	—	1,80		103,34
8	—	1,77		102,45
9	—	1,80	107,02	
10	—	1,73	107,58	
11	—	1,70		109,17
12	—	1,68		106,24
13	—	1,68		106,79
14	—	1,66	114,98	
15	—	1,66	115,05	
16	—	1,66		110,26
17	—	1,66		109,02
18	—	1,62	101,44	
19	—	1,55	117,49	
20	—	1,62	121,07	
21	—	1,55		102,39
22	—	1,55		108,68

Mittel	112,61	106,62
Wahrscheinl. Fehler des Mittels	$\pm 1,19$	$\pm 0,55$
Derselbe der einzelnen Beobachtung	$\pm 3,96$	$\pm 1,84$
Zeitdauer zwischen Reizung und Erhebung des Gewichts	0,02585	0,02448
Wahrscheinlicher Fehler derselben	$\pm 0,00028$	$\pm 0,00013$
Zeitunterschied wegen der Fortpflanzung:	0,00137 \pm 0,00031	
Fortpflanzungsgeschwindigkeit :	3,14 \pm 7,1 Mt.	

B. Sogleich fortgefahren mit demselben Muskel, dessen Einstellung jetzt ungeändert blieb. Ablenkung vorher 119,13 nachher 119,92, im Mittel 119,52.

No.	Ueberlastung.	Erhebungshöhe.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der entfernteren näheren Nervenstelle.	
23	20 gr.	2,53	70,77	
24	—	2,50	72,27	
25	—	2,52		70,27
26	—	2,50		69,47
27	—	2,43	75,11	
28	—	2,42	77,65	
29	—	2,38		62,68
30	—	2,37		74,71
31	—	2,33	74,01	
32	—	2,32	74,21	
33	—	2,20		71,91
34	—	2,17		75,30
35	—	2,22		70,57
36	—	2,17	79,59	
37	—	2,10	81,05	

Mittel	75,58	70,70
--------	-------	-------

Wahrscheinl. Fehler des Mittels .	$\pm 0,79$	$\pm 0,99$
Derselbe der einzelnen Beobachtung	$\pm 2,23$	$\pm 2,61$
Zeitdauer zwischen der Reizung und Erhebung des Gewichts. .	0,01743	0,01631
Wahrscheinl. Fehler derselben .	$\pm 0,00019$	$\pm 0,00023$
Zeitunterschied wegen der Fortpflanzung:	0,00112 \pm 0,00031	
Fortpflanzungsgeschwindigkeit:	38,4 \pm 10,6 Mt.	

Für die Reihen IX bis XI habe ich es versäumt, die Temperatur des Zimmers zu bestimmen, weil ich erst später auf deren Einfluss aufmerksam wurde. Dieselbe hatte

zu jener Zeit zwischen 11 und 15° C. betragen, und war in den Tagen, wo IX. ausgeführt wurde, niedriger gewesen, als bei den beiden andern; daher rührt möglicherweise der niedrigere Werth der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in IX.

Reihe XII.

Angestellt am 20ten Mai mit wechselnden Gewichten und gleichbleibender Intensität der Schläge. Temperatur des Zimmers 20 C. Länge der Nervenstrecke 38 mm. Ablenkung vorher 118,64, nachher 116,72, im Mittel 117,68.

No.	Erhebungshöhe.	Ueberlastung.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der		Unterschied wegen der Fortpflanzung.
			entfernteren Nervenstelle.	näheren	
1	1,65	50	65,12		65,38 — 61,12 = 4,26
2	1,70	—		59,77	
3	1,75	—		62,47	
4	1,70	—	65,65		
5	?	100		73,70	83,0 — 76,2 = 6,80
6	1,45	—		75,10	
7	1,45	—	80,42		
8	1,45	—	85,27		
9	1,45	—		79,45	
10	1,50	—		76,57	
11	1,45	—	83,30		
12	1,75	70	77,10		77,10 — 71,67 = 5,43
13	1,70	—		73,20	
14	1,70	—		70,15	
15	1,65	—	78,97		
16	1,65	—	75,22		
17	1,80	20	56,82		
18	1,85	—		51,75	
19	?	—		49,45	
20	2,05	—	56,81		

No.	Erhebungshöhe.	Ueberlastung.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der		Unterschied wegen der Fortpflanzung.
			entfernteren Nervenstelle.	näheren	
21	1,80	50		62,67	
22	1,80	—		64,95	
23	1,80	—	65,57		
24	1,80	—	82,02		
25	1,75	—	62,50		68,93 — 63,73
26	1,75	—		64,41	= 5,20
27	1,75	—		62,10	
28	1,75	—	69,27		
29	1,75		65,90		
30	1,75		70,57		
31	1,75		66,72		
32	1,70			64,52	

Mittel: 5,58.

Werth desselben in Secunden: 0,00131
 Fortpflanzungsgeschwindigkeit: 29,1 Mt.

Reihe XIII.

Angestellt mit dem Muskel eines frisch gefangenen Frosches den 24ten Mai. Temperatur 20°. Nervenstrecke 43 mm., Intensität der Schläge ungeändert. Ablenkung vorher 113,28, nachher 113,34, im Mittel 113,31.

Die Versuche wurden mit 250 gm. Ueberlastung begonnen, indessen sank die Reizbarkeit des Muskels anfangs so schnell, dass er bald auch 150 gm. nicht mehr regelmässig genug hob; diese ersten Versuche sind nicht hergesetzt, weil die einzelnen Zahlen sich zu schnell veränderten, um ein Resultat zu geben. Von da an blieb der Zustand des Muskels gleichmässiger.

No.	Erhebungshöhe.	Ueberlastung.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der		Unterschied wegen der Fortpflanzung.
			entfernteren Nervenstelle.	näheren	
1	1,35	50	69,75		71,07 — 61,55
2	1,30	—		62,80	= 9,52
3	1,30	—		60,30	
4	1,30	—	72,40		
5	1,70	20	60,75		
6	1,55	—	61,07		
7	1,65	—		51,10	58,60 — 51,87
8	1,65	—		52,65	= 6,73
9	1,65	—	55,67		
10	1,60	—	56,90		
11	0,80	100		89,45	
12	0,80	—		92,95	
13	0,80	—	95,25		96,12 — 90,14
14	0,80	—	97,00		= 5,98
15	0,80	—		89,65	
16	0,90	—		88,52	
17	1,35	50	72,75		
18	1,35	—		68,22	74,13 — 69,11
19	1,35	—		70,00	= 5,02
20	1,35	—	75,52		
21	1,15	70	84,85		
22	1,15	—		82,12	
23	1,15	—		71,05	84,25 — 74,94
24	1,15	—		71,15	= 9,31
25	1,15	—	82,60		
26	1,10	—	85,30		
27	1,10	—		74,20	
28	1,10	—		76,20	

No.	Erhebungshöhe.	Ueberlastung.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der		Unterschied wegen der Fortpflanzung.
			entfernteren	näheren Nervenstelle.	
29	1,60	20	61,57		
30	1,65	—		51,65	
31	1,65	—		50,40	57,58 — 51,88
32	1,65	—		53,12	= 5,70
33	1,65	—	53,25		
34	1,62	—	58,87		
35	1,55	—	56,65		
36	1,60	—		52,37	

Mittel: 7,04

Werth desselben in Secunden: 0,00171

Fortpflanzungsgeschwindigkeit: 25,1 Mt.

Reihe XIV.

Angestellt am 25ten Mai mit dem Muskel eines frisch gefangenen Frosches, mit gleichbleibenden elektrischen Schlägen. Temperatur 21° C. Nervenstrecke 38 mm. Ablenkung vorher 116,52, nachher 115,81, im Mittel 116,16. Die einzelnen Zahlen sind in dieser Reihe weniger regelmässig, als in den beiden vorhergehenden; ich habe sie aber hergesetzt, weil sie von allen ähnlichen die grösste Ausdehnung hat.

No.	Erhebungshöhe.	Ueberlastung.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der		Unterschied wegen der Fortpflanzung.
			entfernteren	näheren Nervenstelle.	
1	2,55	200	65,10		
2	2,50	—		62,27	67,23 — 61,84
3	2,55	—		61,42	
4	2,40	—	70,77		= 5,39
5	2,35	—	65,82		

No.	Erhebungshöhe.	Ueberlastung.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der entfernteren näheren Nervenstelle.		Unterschied wegen der Fortpflanzung.
6	2,40	150	64,52		
7	2,40	—		61,20	
8	2,25	—		59,60	
9	2,05	—	59,77		
10	2,00	—	78,17		69,74 — 62,02
11	1,95	—	62,65		= 7,72
12	1,85	—		61,67	
13	1,80	—		65,60	
14	1,80	—	83,57		
15	2,00	100	61,62		
16	2,05	—		57,50	62,26 — 56,56
17	2,05	—		55,62	= 5,70
18	2,05	—	62,90		
19	2,20	75	51,45		
20	2,30	—		48,70	52,05 — 48,60
21	2,30	—		48,50	= 3,45
22	2,30	—	52,65		
23	2,35	50	50,97		
24	2,35	—		49,60	
25	2,35	—		39,72	52,34 — 43,27
26	2,35	—		40,50	= 9,07
27	2,35	—	50,47		
28	2,35	—	55,57		
29	2,55	25	43,80		
30	2,55	—		42,47	
31	2,60	—		37,45	44,31 — 39,58
32	2,55	—		38,82	= 4,73
33	2,55	—	44,82		

No.	Erhebungshöhe.	Ueberlastung.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der		Unterschied wegen der Fortpflanzung.
			entfernteren Nervenstelle.	näheren	
34	2,30	50		50,12	
35	2,30	—	51,15		
36	2,30	—	50,92		51,04 — 47,46
37	2,30	—		44,20	= 3,58
38	2,30	—		45,52	
39	2,30	—		50,00	
40	2,00	75		52,47	
41	1,95	—	57,30		
42	1,95	—	64,42		
43	?	—	52,25		
44	1,90	—		57,57	65,94 — 57,97
45	1,80	—		61,42	= 7,97
46	1,75	—	89,32		
47	1,75	—	66,40		
48	1,75	—		60,40	

Mittel: 5,95

Werth derselben in Sekunden: 0,00141

Fortpflanzungsgeschwindigkeit: 26,9 Mt.

Reihe XV.

Angestellt mit dem Muskel, welcher vorher zur Versuchsreihe VII gedient hatte. An demselben zeigte sich die entferntere Nervenstelle nachher empfindlicher gegen den absteigenden Strom als die nähere. Es trat nämlich das Maximum der Reizung bei der genannten Stromesrichtung für die erstere bei 7 Ctm. Entfernung der Spiralen, für die letztere bei 6 Ctm. ein. Bei der entgegengesetzten Stromesrichtung dagegen für die erstere bei 5 Ctm., während es für die letztere unverändert blieb. Es wurden die folgenden vier Versuche angestellt mit absteigenden Strömen.

No.	Erhebungshöhe.	Ueberlastung.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der	
			entfernteren Nervenstelle.	näheren
1	1,05	100		66,72
2	1,05	—	70,70	
3	1,00	—		67,40
4	0,95	—	70,62	
Mittel			70,66	67,06
Differenz			3,6	

Nach Vollendung dieser vier Versuche war die Empfindlichkeit beider Stellen für absteigende Ströme gleich geworden. Die Versuche sind hier angeführt, um zu zeigen, dass auch bei grösserer Empfindlichkeit der entfernteren Nervenstelle die Reizung derselben später die Muskelwirkung herbeiführe, als die der näheren.

Die für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit zwischen 11 und 21° C. gefundenen Werthe sind demnach

a) aus Reihe IX, X, und XI.

$$24,6 \pm 2,0$$

$$30,8 \pm 6,4$$

$$32,0 \pm 9,7$$

$$31,4 \pm 7,1$$

$$38,4 \pm 10,6$$

Aus diesen findet sich nach der Methode der kleinsten Quadrate als wahrscheinlichster Mittelwerth: 26,4.

b) aus Reihe XII, XIII, XIV.

$$29,1$$

$$25,1$$

$$26,9$$

$$\text{Mittel: } \underline{27,0}$$

Um den Beweis noch zu vervollständigen, dass der zeitliche Verlauf der Zuckung bei Reizung beider Nervenstellen

ganz derselbe sei, müssten die Messungen auch auf den absteigenden Theil der Curve der Energie ausgedehnt werden. Das lässt sich mittelst des bis jetzt gebrauchten Apparates direct nicht ausführen, wohl aber indirect. Wir können nämlich bei einer leichten Abänderung der Stromleitungen diejenige Zeitdauer messen, während welcher das Gewicht vom zuckenden Muskel erhoben, somit die Goldkuppe *m* von dem Plättchen *n* getrennt ist. Der Augenblick in welchem sich die letzteren Theile wieder berühren, wird im Allgemeinen nicht genau derselbe sein, in welchem die elastische Spannung des Muskels wieder gleich der Summe der Belastung und Ueberlastung geworden ist, weil nach dem früher Gesagten die Erhebungshöhen nicht nothwendig den Höhen des Gleichgewichts entsprechen; es wird also auch die Zeitdauer, welche wir messen können, nämlich die, während welcher die Metalltheile der Unterbrechungsstelle getrennt sind, nicht diejenige sein, um welche es sich eigentlich in unserer Beweisführung handelt, nämlich die Zwischenzeit derjenigen beiden Zeitpunkte, in welchem einmal die steigende, dann die sinkende Muskelspannung den durch die Gewichte gemessenen Werth hat. Es ist indessen klar: wenn die Werthe der letzteren für beide Nervenstellen bei allen Graden der Muskelspannung gleich, also die beiden Spannungscurven so wohl in ihrem aufsteigenden wie absteigenden Theile congruent sind, müssen auch die Unterbrechungszeiten des Stromes für alle Ueberlastungen und alle Ermüdungsgrade gleich sein; wenn jenes aber nicht der Fall ist, kann auch das Letztere im Allgemeinen nicht der Fall sein. Wir sind deshalb berechtigt, bei unseren Versuchen rückwärts zu schliessen. Wenn wir die Unterbrechungszeiten des Stromes bei verschiedenen Ueberlastungen und Ermüdungszuständen gleich finden, so müssen auch die beiden Spannungscurven vollständig congruent, und die einzelnen Punkte in dem absteigenden Theile der Curve der entfernteren Nervenstelle um ebenso viel verzögert sein, als die ihres

aufsteigenden Theils. So kann also unser Beweis für die gleichmässige Verzögerung sämtlicher Stadien der Energie bei Reizung von der ferneren Nervenstelle vervollständigt werden.

Die Messungen sind folgendermassen ausgeführt worden. Es werden die Enden der Leitung des Multiplicators und ebenso die Pole der Batterie mit dem Goldplättchen *n* und dem Quecksilbernäpfchen *o* in leitende Verbindung gesetzt. So lange das stromführende Zwischenstück beide verbindet, geht der ganze Strom durch dasselbe hin, und nur ein kaum merklicher Theil desselben durchkreist das Galvanometer, weil dieses einen ungeheuer grossen Leitungswiderstand im Vergleich zu jenem Stücke hat. Während aber die Goldkuppe *m* von *n* getrennt ist, muss der ganze Strom durch das Galvanometer gehn, und wirkt grade so lange auf den Magnet als die Trennung dauert. Die Ausschläge des Magnetes messen also die Dauer der Trennung. Die Reizung der beiden Nervenstellen geschah ganz auf dieselbe Weise und mit denselben Vorsichtsmaassregeln wie sonst.

Versuchsreihe XVI.

Muskel eines vier Wochen gefangenen Frosches, gleiche Stromstärke in beiden Nervenstellen. Einstellung nicht geändert.

A. Ueberlastung 200 grm. Ablenkung vorher 114,11, nachher 112,82.

No.	Ueberlastung.	Erhebungshöhe.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der	
			entfernteren	näheren
			Nervenstelle.	
1	200	1,05	369,39	
2	—	1,02	354,46	
3	—	1,00		345,94
4	—	1,00		344,35
5	—	1,00	344,40	
6	—	1,00	329,24	
7	—	0,95		340,21
8	—	0,95		328,09
9	—	0,95	324,72	
10	—	0,90	317,33	
11	—	0,85		313,44
12	—	0,80		308,00
13	—	0,75	299,04	
14	—	0,70	295,17	
15	—	0,65		290,41
16	—	0,65		284,52
17	—	0,60	281,17	
18	—	0,55	278,91	
Mittel:			319,38	319,37

B. Ueberlastung 100. Ablenkung vorher 112,82, nachher 112,99.

No.	Ueberlastung.	Erhebungshöhe.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der	
			entfernteren	näheren
			Nervenstelle.	
19	100	1,30		464,59
20	—	1,35		452,62
21	—	?	438,37	
22	—	1,35	431,00	

No.	Ueberlastung.	Erhebungshöhe.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der	
			entfernteren	näheren
Nervenstelle.				
23	100	1,35		419,97
24	—	1,35		417,50
25	—	1,35	406,27	
26	—	1,30	415,63	
27	—	1,25		399,44
28	—	1,20		385,97
29	—	1,10	375,55	
30	—	1,05	373,04	
31	—	1,00		366,07
32	—	0,90		358,43
Mittel:			406,64	408,07

Versuchsreihe XVII.

Muskel eines 4 Wochen aufbewahrten Frosches. Gleiche Stromstärke in beiden Nervenstellen. Einstellung während des Versuchs nicht geändert; Ablenkung vorher 114,87, nachher unverändert 114,87.

No.	Ueberlastung.	Erhebungshöhe.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der	
			entfernteren	näheren
Nervenstelle.				
1	100	0,50	371,44	
2	—	0,55		375,13
3	—	0,55	370,98	
4	—	0,50		366,53
5	—	0,45	362,24	
6	—	0,45		356,15
7	—	0,45	353,26	

No.	Ueberlastung.	Erhebungsstelle.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der	
			entfernteren Nervenstelle.	näheren
8	100	0,45		348,04
9	—	0,50	348,94	
10	—	0,47		340,33
11	—	0,45	335,92	
12	—	0,45		336,04
13	—	0,45	326,13	
Mittel:			352,70	353,70

In allen diesen Reihen nehmen die Ausschläge mit der zunehmenden Ermüdung des Präparats sehr merklich ab. Die arithmetischen Mittel der gefundenen Zahlen dürfen wir nur dann als die demselben mittleren Ermüdungszustande des Muskels zukommenden Werthe der zu messenden Grösse betrachten, wenn sich die Ausschläge während der Dauer der Beobachtungen in gleichen Zeitabschnitten nahehin um gleiche Differenzen vermindert haben. Dass dies der Fall sei, werden wir daraus erkennen, dass die Mittel aus allen beliebigen Combinationen gleich weit von den mittelsten in der Reihenfolge abstehender Zahlen gleich sind, oder wenigstens regellose Unterschiede zeigen; ist es nicht der Fall, so werden diejenigen weiter abstehenden regelmässig entweder alle grösser oder alle kleiner sein müssen, als die der weniger abstehenden. Die obige Forderung trifft bei den angeführten Versuchsreihen zu; bei einer andern nicht mitabgedruckten traf sie nicht zu; dieselbe war deshalb für unsern Zweck nicht zu gebrauchen. Um die Erfüllung der bezeichneten Bedingung nachzuweisen und zugleich zu zeigen, dass die Unterschiede, welche zwischen den Mittelwerthen für Reizung verschiedener Nervenstellen vorkommen, kleiner sind als diejenigen für Reizung derselben Stelle, habe ich folgende Zusammenstellung berechnet.

Mittelwerthe der Differenzen der Ausschläge.

1) für die Reihe XVI A.

No. der Versuche.	Von der entfernteren Nervenstelle.	No. der Versuche.	Von der näheren Nervenstelle.
1 bis 18	319,38	3 bis 16	319,37
2 — 17	315,69	4 — 15	320,75
5 — 14	318,31	7 — 12	322,43
6 — 13	317,58	8 — 11	320,76
9 und 10	321,01		
Mittel:	318,39		320,76

2) für die Reihe XVI B.

21 bis 30	406,64	19 bis 32	408,07
22 — 29	407,11	20 — 31	406,92
25 und 26	410,95	23 — 28	405,71
		24 — 27	408,45
Mittel:	407,29		406,17

3) für die Reihe XVII.

1 bis 13	352,70	2 bis 12	353,70
3 — 11	354,27	4 — 10	352,76
5 — 9	354,61	6 und 8	352,09
7	353,26		
Mittel:	353,71		352,65

Da uns die hier gebildeten Versuchscombinationen schliesslich Mittel mit gerade entgegengesetzt liegenden Differenzen geben, als die aus der einfachen Addition aller Beobachtungen vorher gefundenen, dürfen wir wohl schliessen, dass die kleinen Differenzen der letzteren, deren höchste in XVI B nur 1,43 Scalentheile; also etwa $\frac{1}{300}$ der gemessenen Grösse beträgt, zufällige seien. Es sind also die gemessenen Zeiträume für beide Nervenstellen innerhalb der Grenzen der zu erreichenden Genauigkeit gleich, daraus folgt nach dem oben Gesagten, dass die einzelnen Stadien der sinkenden Energie

durch die Fortpflanzung im Nerven um ebenso viel verspätet werden, wie wir es für die der steigenden Energie nachgewiesen haben.

Ich bemerke schliesslich noch, dass die zu unsern vorläufigen Versuchen gebrauchte Methode, die zeitlichen Vorgänge aufzuzeichnen, welche für die Untersuchung der Muskelzuckung nicht brauchbar war, wahrscheinlich zu einer bequemerem und schnelleren Darlegung unserer Resultate über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den Nerven wird dienen können, als die bisher befolgte. Man braucht den Mechanismus nur so anzuordnen dass sich zwei der Reizung verschiedener Nervenstellen entsprechende Erhebungscurven vollständig decken müssten, wenn die Fortpflanzungsgeschwindigkeit eine unendlich grosse wäre. Da das Letztere nicht der Fall ist, werden sie in der That auseinanderfallen, und der Unterschied der Abscissen von je zwei entsprechenden Punkten derselben wird der Fortpflanzungszeit entsprechen. Wenn es meine Mittel erlauben, behalte ich mir vor, den Versuch in dieser Weise auszuführen.

§. III.

Veränderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den Nerven durch die Temperatur.

Ich habe in meiner vorläufigen Mittheilung angegeben, dass ich für den Zeitunterschied, der der Nervenleitung entspricht, an kälteren Tagen grössere Zahlenwerthe erhalten habe und schloss daraus, dass wahrscheinlich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit der Temperatur abnehme. Das hat sich in sehr auffälliger Weise bestätigt, bei einigen Versuchen, wobei ich die Nerven auf Eis legte. Das Resultat derselben wird aber durch eine andere höchst auffallende Erscheinung complicirt, für welche ich noch keine Erklärung zu geben weiss. Wird nämlich ein Theil des Nerven

auf Eis gelegt, so wird die Zeitdauer zwischen der Reizung und der mechanischen Wirkung des Muskels sehr beträchtlich erhöht, zuweilen auf das zehnfache und zwar sonderbarer Weise nicht bloß dann, wenn die Reizung sich durch die erkältete Stelle des Nerven hindurch fortpflanzen muss, sondern auch, wenn der Nerv zwischen dem Eis und dem Muskel oder der Muskel selbst von dem elektrischen Strom getroffen wird. Dabei ist an eine unmittelbare Einwirkung der Kälte auf den Muskel nicht zu denken, weil die Wirkung aufhört, wenn man das Eis an seinem Platze lässt, den Nerven aber vom Muskel trennt.

Ich führe zunächst als Beleg hier eine Versuchsreihe an, bei welcher die elektrischen Schläge durch den Muskel selbst gingen.

Reihe XVIII.

A) Ablenkung vorher 113,67. Der Nerv liegt noch nicht auf dem Eise.

No.	Ueberlastung	Differenz der Ausschläge.
1	50	99,52
2	—	100,50
3	20	68,20
4	—	68,95
5	50	99,85
6	—	98,85

B) Der Nerv wird auf Eis gelegt. Das Eis ist in einem kleinen Glühtiegelchen von Porzellan enthalten, welches mit Wasser gefüllt im Freien gestanden hatte, bis das Wasser gefroren war. Zwischen Nerv und Eis legte ich ein Streifen Froschhaut, um die Reizbarkeit des Nerven nicht durch das sich bildende Wasser zu beeinträchtigen.

No.	Ueberlastung	Differenz der Ausschläge.
7	50	143,37
8	—	155,55
9	20	96,85
10	—	98,95
11	50	155,17
12	—	156,35

Nun wurde der Nerv durchschnitten, während das Tiegelchen mit Eis stehen blieb.

No.	Ueberlastung	Differenz der Ausschläge.
13	50	110,77
14	—	111,65
15	20	167,17
16	—	67,70
17	50	100,20
18	—	94,10

Ich lasse hier die Versuchsreihen folgen, welche ich über die Fortpflanzung der Reizung in erkalteten Nerven angestellt habe.

Reihe XIX.

Der Nerv lag von Anfang an auf Eis, von diesem durch ein mit Kautschuck gefirnissetes Stanniolblättchen getrennt, und wurde deshalb stärker erkältet, als in der vorhergehenden Reihe; das Eis war zu Ende des Versuchs noch nicht ganz geschmolzen. Ablenkung 123,13. Ueberlastung 50 gr. Da die Ausschläge fortdauernd steigen, sind die der Fortpflanzungszeit entsprechenden Unterschiede aus dem Mittelwerthe von denjenigen Ziffern berechnet worden, welche hintereinander bei Reizung der einen Nervenstelle gefunden wurden, und aus dem Mittel von 2 nächst vorhergehenden und 2 nächstfolgenden, auf die andere Stelle bezüglichen.

No.	Erhebungshöhe.	Ueberlastung.	Differenz der Ausschläge bei Reizung		Mittel für Reizung der		Differenz wegen der Leitung.
			entfernten Nervenstelle.	näheren	entfernten Nervenstelle.	näheren	
1	1,25	50	235,63				
2	1,35	—	238,15				
3	1,30	—		238,97	255,84	248,40	7,44
4	1,20	—		257,84			
5	1,15	—	262,50				
6	1,05	—	287,08		279,93	268,27	11,66
7	1,15	—	290,21				
8	1,10	—		290,23	303,15	288,14	15,01
9	1,05	—		286,05			
10	1,00	—	314,95		317,66	300,81	16,85
11	0,90	—	320,38				
12	0,90	—		309,31			
13	0,85	—		317,64	339,52	313,47	26,05
14	0,85	—	354,67		361,37	332,20	29,17
15	0,85	—	368,08				
17	0,80	—		350,05	406,36	350,93	55,43
18	0,80	—		351,81			
19	0,70	—	412,72		451,34	375,24	76,10
20	0,70	—	489,97				
21	0,70	—		391,26			
22	0,65	—		397,84			

Es steigt also die Zeit, welche für die Leitung des Reizes im Nerven nöthig ist, in diesem Beispiel auf das Zehnfache, die Versuchsreihe musste abgebrochen werden, weil die Ausschläge zu gross wurden, um noch auf der Scala beobachtet zu werden. Zugleich ergibt sich, dass die Intensität der Reizung nicht verringert wird, wenn dieselbe sich durch die erkaltete Stelle fortpflanzt, denn die Erhe-

bungshöhen bleiben unverändert, welche Stelle des Nerven auch erregt werden mag.

Ich konnte keine so ausgedehnte Versuchsreihe in diesem Winter mehr gewinnen, weil die Temperatur der Luft höher wurde, und die kleinen Eismassen, welche ich wegen der Dimensionen meines Apparats allein anwenden konnte, schnell hinwegschmolzen. Ich will aus einer der anderen Reihen nur noch die folgenden Versuche anführen, aus welchen hervorzugehen scheint, dass die Verzögerung wegen der Nervenleitung bei hohen und niedrigen Ueberlastungen gleich ist.

Reihe XX.

Der Nerv lag auf Eis, von ihm getrennt durch Froschhaut. Ablenkung 123,2.

No.	Erhebungshöhe.	Ueberlastung.	Differenz der Ausschläge bei Reizung der	
			entfernteren Nervenstelle.	näheren
1	1,40	20	115,47	
2	1,35	—		116,57
3	1,35	—	124,89	
4	0,40	100	217,89	
5	0,45	—		210,06
6	0,40	—	225,40	
7	1,30	20	116,19	
8	1,25	—		101,97
9	1,25	—	124,89	
10	0,25	100	228,96	
11	0,30	—		202,55
12	0,25	—	221,70	

Aus den Versuchen 4 bis 6 findet sich für 100 grm. Ueberlastung die Differenz wegen der Fortleitung = 11,58 als Mittel aus den Versuchen 1, 2, 3, 7, 8, 9 dieselbe für 20 grm. Ueberlastung = 11,09. Auf dieselbe Weise findet sich aus 7, 8, 9 für 20 grm. dieser Werth = 18,57 und derselbe aus 4, 5, 6, 10, 11, 12 für 100 grm. = 17,18. Diese Werthe entsprechen sich hinreichend gut.

Ich stelle schliesslich die Resultate der vorliegenden Untersuchungen noch einmal zusammen:

1) Wenn ein animalischer Muskel oder sein Nerv durch einen momentanen elektrischen Schlag gereizt wird, vergeht erst eine kurze Zeit, während welcher die elastische Spannung desselben sich nicht merklich ändert, dann steigt sie allmähig zu einem Maximum, um ebenso allmähig wieder zu sinken. Die Zusammenziehung des animalischen Muskels unterscheidet sich also von der, welche in organischen, nicht rhythmisch wirkenden Muskeln, nach verhältnissmässig kurzer Reizung eintritt, nur dadurch, dass ihre einzelnen Stadien viel schneller vorübergehen.

2) Wenn zwei verschiedene Stellen eines motorischen Nerven von einem momentanen Reiz getroffen werden, und die Grösse der Reizung für beide gleich ist, so ist es auch der zeitliche Verlauf der darauf erfolgenden Muskelzuckung, nur treten sämtliche Stadien derselben um ein Gleiches später ein, wenn der Reiz die entferntere Stelle des Nerven getroffen hat. Wir schliessen daraus, dass die Fortpflanzung der Reizung durch den Nerven bis zum Muskel hin, einer messbaren Zeit bedürfe.

3) Wenn eine Stelle des Nerven stark abgekühlt wird, ist die Dauer sämtlicher Stadien der Muskelzuckung eine viel grössere, selbst dann, wenn die Reizung gar nicht durch die erkältete Stelle hindurch zu dringen braucht. Die Fort-

pflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in der erkalteten Stelle ist beträchtlich vermindert.

Die Art der Fortpflanzung der Reizung ist noch folgendermaassen näher zu bestimmen. Wir wissen nicht, ob die Veränderungen im Zustande des motorischen Nerven, welche sich durch Einwirkung eines Reizes einstellen, es augenblicklich thun, und auch ebenso schnell wieder verschwinden, wie der erregende Vorgang, oder ob sie sich, wie wir es von denen des Muskels wissen, erst allmählig einstellen, und später als der Reiz verschwinden. Das Letztere dürfte vielleicht wahrscheinlicher sein, nach Analogie des Verweilens der Eindrücke in den Sinnesnerven. Wenn dies der Fall ist, so folgt aus unserem Nachweis über den bis auf die Verzögerung wegen der Fortpflanzung unveränderten Verlauf der Muskelzuckung bei Reizung der entfernteren Nervenstelle, dass auch der zeitliche Verlauf der Reizungserscheinungen in jeder einzelnen Nervenstelle, gleich viel ob nah oder fern von der gereizten Stelle, derselbe sein muss, dass also die Erregung der primär erregten Stelle, wie eine Welle von unveränderter Form durch den Nerven hin bis zum Muskel abläuft. Ist die Dauer der Vorgänge in jeder einzelnen Nervenstelle aber verschwindend klein gegen die im Muskel, so dürfen wir einen solchen Schluss nicht machen; es könnte sich dann bei der Fortleitung die relative Dauer der einzelnen Stadien der Welle verändern, wenn nur die des ganzen Vorgangs gegen die Dauer der Muskelzuckung verschwindend klein bleibt.

Fig. 1.

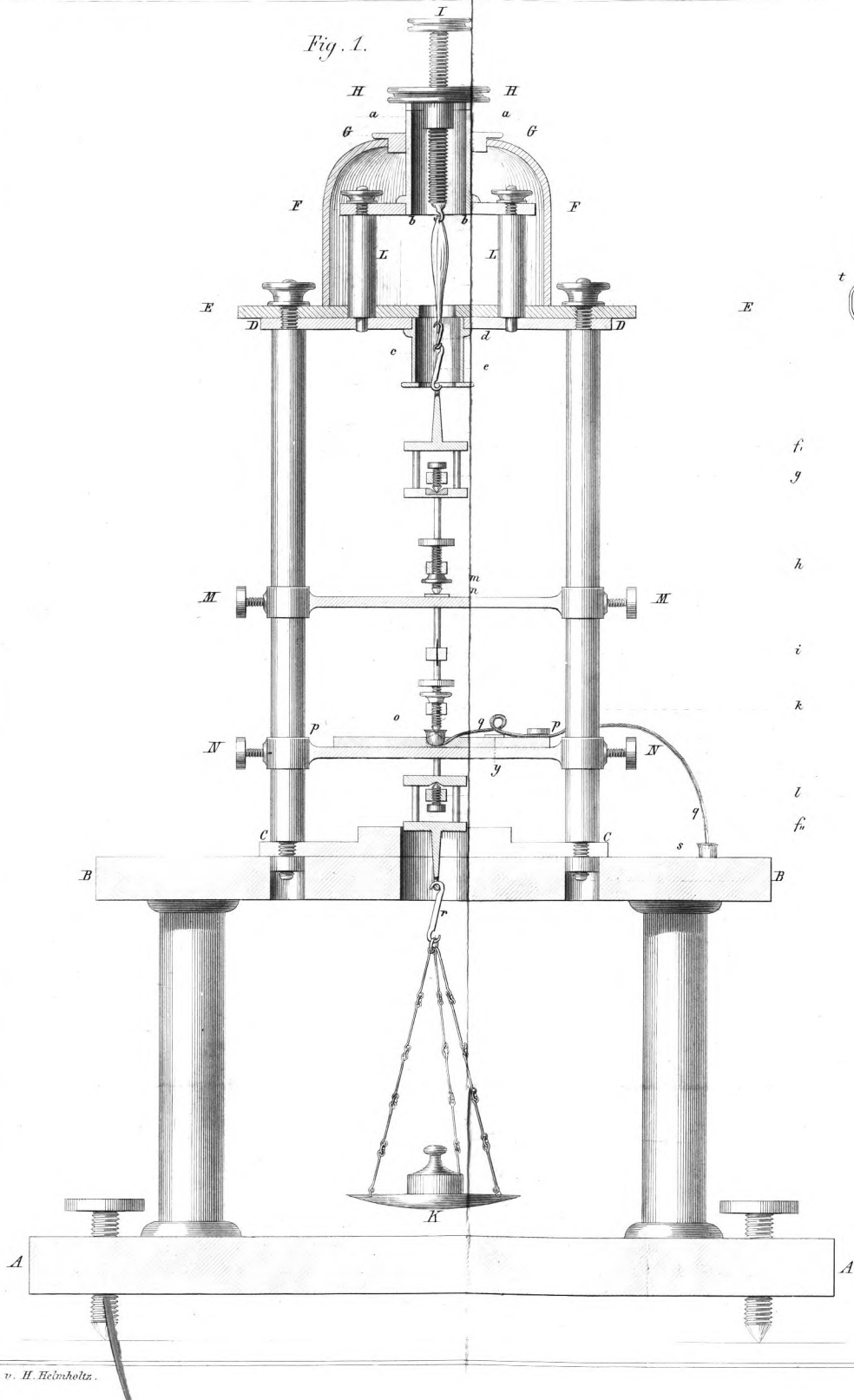


Fig. 2.

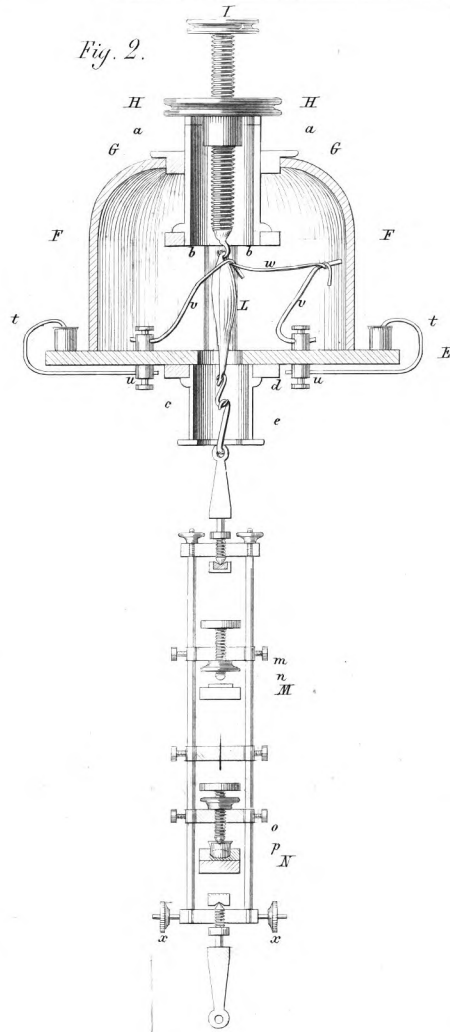


Fig. 3.

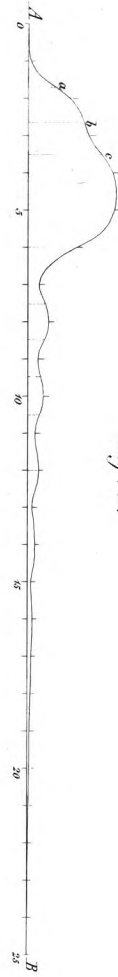


Fig. 4.

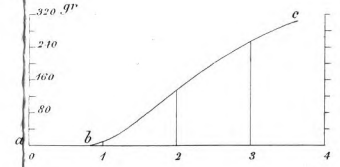


Fig. 5.

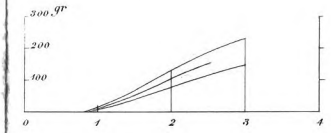


Fig. 7.

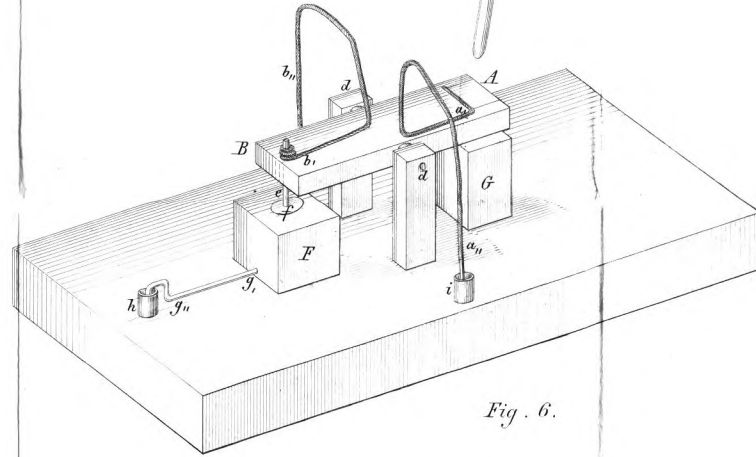
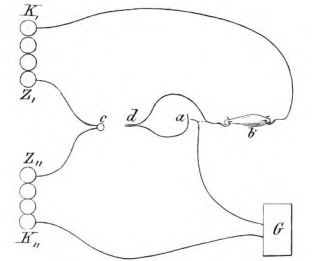


Fig. 6.