Beschreibung

einiger

Vorrichtungen und Versuchsweisen

zu

elektrophysiologischen Zwecken.

Von

EMIL DU BOIS-REYMOND.

Aus den Abhandlungen der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1862.

Mit drei Tafeln.

Berlin.

Gedruckt in der Buchdruckerei der Königl. Akademie
der Wissenschaften.

1863.

In Commission von F. Dümmler's Verlags-Buchhandlung
Harrwitz und Gossmann.

Gelesen in der Akademie der Wissenschaften am 30. Mai 1861. Die Seitenzahl bezeichnet die laufende Pagina des Jahrgangs 1862 in den Abhandlungen der physikalischen Klasse der Königl. Akademie der Wissenschaften.

Ich habe, seit dem Erscheinen meiner Untersuchungen über thierische Elektricität, zu dem, was daselbst über Vorrichtungen und Versuchsweisen zu elektrophysiologischen Zwecken gesagt ist, allerlei hinzuzusetzen gefunden, wovon ich Einiges hier zusammenstellen will, um mich gelegentlich darauf beziehen zu können. Ein Theil davon hat zwar bereits auf anderem Wege, durch meine Vorträge, durch persönlichen Verkehr, durch die aus meinem Laboratorium hervorgegangenen Arbeiten, eine ansehnliche Verbreitung, ja einige Bedeutung für den Fortschritt unserer Wissenschaft erlangt. Ich erfülle aber einen oft gegen mich ausgesprochenen Wunsch, indem ich ausdrücklich und im Zusammenhange eine Schilderung auch dieser schon bekannteren Hülfsmittel gebe.

§. I. Vom Multiplicator.

Die Multiplicatoren für thierisch-elektrische Versuche, wie sie Hr. Sauerwald auf meine Anregung zu bauen begonnen hat, weichen in mehreren Punkten von dem von mir a. a. O. Bd. II. Abth. I. S. 477 beschriebenen Instrument ab. Sie sind aber in Deutschland, ja im Auslande, jetzt so verbreitet, dafs eine Beschreibung derselben für überflüssig gelten darf, und die Art sie zu behandeln kann auch als so allgemein bekannt vorausgesetzt werden, dafs höchstens einzelne minder auf der Hand liegende Rathschläge noch am Platze scheinen möchten.

Folgendes Verfahren beim Aufstellen des Multiplicators führt schnell und sicher zum Ziel. Ich nehme an, dafs der einfache Coconfaden mit seinem Häkchen bereits eingebracht ist. Man giebt dem Theodolitenfufs

des Instruments einen beliebigen, durch Rücksichten der Symmetrie oder Bequemlichkeit empfohlenen Stand auf einem Wandconsol, bei dessen Befestigung man nicht ängstlich Eisen zu vermeiden braucht. Unter jede Stellschraube legt man eine der auf ein quadratisches Stück Spiegelglas angekitteten Messingplatten, und befestigt das Stück Glas an das Consol, indem man es mit Kolophoniumkitt umgiefst. Man entfernt die Theilung, und stellt das Instrument wagerecht mittels einer auf den Rahmen aufgesetzten Dosenlibelle. Man hängt an das Häkchen des Coconfadens eine einfache Nadel, und stellt die Windungen ihr parallel. Um diese Stellung künftig wieder zu finden, liest man sie an der unteren Theilung ab.

Nun streicht man die Nadeln bis zur Sättigung auf die a. a. O. S. 484 beschriebene Art, und hängt sie unter einer Glocke über einer Theilung auf, deren Nulllinie im Meridian steht. Man sieht zu, wenn man das Nadelpaar nicht bereits kennt (1), welche Nadel die stärkere ist, und schwächt diese mittels der Streichnadel bis zu dem Mafse der freiwilligen Ablenkung, das Geschick und Glück, und, wie ich unlängst in Poggendorff's Annalen gezeigt habe (2), der Parallelismus der Nadeln zu erreichen gestatten. Die Theorie verschiedener Fälle stabilen und labilen Gleichgewichtes der Nadelpaare, auf die man dabei stofsen kann, habe ich dort, mit Rücksicht auf eine Beobachtung des Hrn. Sauerwald, entwickelt. Beim Handhaben der Nadeln vergesse man nicht, dafs man das Zwischenstück aus Schildpatt besser nicht mit der Hand berührt, durch deren feuchte Wärme es leicht verkrümmt werden könnte (3), die Nadeln selber aber nicht mit Metallen, auch scheinbar ganz unmagnetischen, weil im Augenblick der Berührung mit einem Magnete, oder der Trennung von demselben, jedes Metall, wegen der darin erzeugten Inductionsströme, sich magnetisch verhält. Einige

(1) Zur Kenntnifs eines Nadelpaares gehört, dafs man wisse: 1. welche Nadel die stärkere, 2. welches der Sinn der freiwilligen Ablenkung des Nadelpaares sei. — Wenn man sich in der Lage befindet, einen unbekannten Streichmagnet anwenden zu müssen, versäume man nicht, zuerst dessen Pole auf die Richtigkeit ihrer Bezeichnung zu prüfen. Sonst läuft man Gefahr, wie es mir einst begegnete, im ferneren Verlaufe der Operation, die schwächere statt der stärkeren Nadel zu schwächen, und vergeblich auf das Eintreten der Astasie zu warten.

(2) Januar 1861. Bd. CXII. S. 1.

(3) Aluminium würde als Material für das Zwischenstück jetzt vielleicht den Vorzug vor dem Schildpatt verdienen.

rühmen das Verfahren, der Nadel die letzten Striche durch Papier oder Glimmer hindurch zu ertheilen. Leider kann man sich nicht auf Astatischmachen eines bestimmten Nadelpaares mittels einer bestimmten Streichnadel einüben, weil durch das Verkehrtstreichen auch die Streichnadel selbst an Magnetismus verliert. Es ereignet sich wohl, dafs man mit der Streichnadel keine Schwächung der stärkeren Nadel mehr erhält, wenn man sie an bestimmten Punkten ihres Umfanges, die sich am bequemsten zur Berührung bieten, verkehrt streicht. Alsdann genügt es, die Nadel an einem anderen minder zugänglichen, und deshalb bisher verschont gebliebenen Punkte zu berühren, um einen neuen Fortschritt der Astasie zu bewirken.

Ist das Nadelpaar so astatisch wie möglich, so stellt man die Windungen des Multiplicators mit Hülfe der unteren Theilung in die Ebene der freiwilligen Ablenkung, und hängt das Nadelpaar ein. Es folgt die Compensation der Ablenkungen durch die Drahtmassen, wenn dergleichen vorhanden sind, nach den in meinem Werke (1) gegebenen Regeln, zu denen ich nichts hinzuzufügen wüfste, als dafs man zum Compensator statt der Spitze der dort empfohlenen Perlnadeln, die nicht aus hartem Stahl bestehen, besser die der Aachener Nähnadeln No. 12 (lang) benutzt.

Hr. Tyndall hat kürzlich die Bemerkung gemacht, dafs die gewöhnlich zum Bespinnen angewendete grüne Seide Eisen enthalte und magnetisch wirke, und es ist ihm gelungen, völlig anziehungsfreie Drahtmassen herzustellen, indem er weifse Seide zum Bespinnen nahm (2). Ich hatte, als ich im Beginn meiner Multiplicatorversuche mit den Ablenkungen durch die Drahtmassen kämpfte, keinen Grund auf die Seide einen Verdacht zu werfen, da ich nicht unterlassen hatte, mich durch chemische Analyse zu überzeugen, dafs mein Draht, selbst nach dem Auflösen der vielleicht durch das Ziehen verunreinigten Schicht, Eisen enthielt, und dafs Stücke von demselben Kupfer, aus dem er gezogen war, stark magnetisch wirkten (3). Der Kupferdraht, den Hr. Sauerwald neuerdings zu seinen Multiplicatoren ver-

(1) Bd. II. Abth. I. S. 485 ff. — Auf S. 494 ist ein verwirrender Druckfehler stehen geblieben. Es ist nämlich daselbst der Satz „Sie bleibt gestaltet etwa wie die kurzpunktirte Curve in Fig. 126" (Z. 14 u. 15 von oben) zu streichen, da diese Curve, um die Figur nicht noch mehr zu verwickeln, fortgelassen wurde.

(2) Philosophical Transactions etc. For the Year 1861. p. 2; — Poggendorff's Annalen u. s. w. Bd. CXIII. 1861. S. 2.

(3) Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 164. 187.

wendet hat, ist durch Stein gezogen, und trotzdem magnetisch, auch wenn er mit weifser Seide besponnen wird. Es würde also eine Täuschung sein, wenn man fortan hoffte, durch die blofse Anwendung weifser Seide zum Bespinnen sich vor den Ablenkungen durch die Drahtmassen zu schützen. Sondern die nächste Aufgabe wird bei uns noch immer sein, sich eisenfreies Kupfer zu verschaffen. Nach Hrn. Magnus' Versuchen (¹) ist galvanoplastisches Kupfer keinesweges ohne Weiteres als eisenfrei anzusehen; es kann erst durch ein so mühseliges und kostspieliges Verfahren eisenfrei erhalten werden, dafs es vermuthlich in jeder Beziehung vortheilhafter wäre, Silber zu verwenden. Die Schwierigkeiten, auf die Hr. Magnus bei Herstellung eines eisenfreien Gewindes zu thermoëlektrischen Zwecken stiefs, dürften sich aber noch steigern, wenn es sich darum handelte aus dem galvanoplastischen Kupfer so feine Drähte zu ziehen, wie man ihrer zu thierisch-elektrischen Versuchen bedarf. Unter diesen Umständen wird das Gerathenste sein, den Draht aus England zu beziehen, wo von elf Proben neun sich Hrn. Tyndall diamagnetisch zeigten.

Das Nadelpaar mufs gut centrirt sein, nicht allein wegen der Fehler der Ablesung, die aus der mangelhaften Centrirung entspringen, sondern auch aus folgenden Gründen. Hängt es excentrisch, so wird es erstens bei starken das Gewinde durchkreisenden Strömen leichter nach einer Seite hin gezogen und dadurch in Pendelschwingungen versetzt. Zweitens ist zu bedenken, dafs die Anziehungen, welche nicht eisenfreie Drahtmassen und das Berichtigungsstäbchen auf das Nadelpaar ausüben, von der Höhe abhangen, in der dasselbe im Rahmen schwebt, oder von der Länge des Fadens. Diese Länge unterliegt, wenn nicht besondere Mafsnahmen getroffen sind, wegen der wechselnden Feuchtigkeit der Luft, fortwährenden Schwankungen, deren gröfsere Werthe man bei einiger Aufmerksamkeit leicht beobachten kann. Nun aber kommt das Gleichgewicht des Nadelpaares im Azimuth zu Stande durch die Zusammensetzung jener beiden Kräfte mit der Richtkraft der Erde. Ändern sich also jene Kräfte in Folge einer Höhenschwankung der Nadeln, so mufs auch im Allgemeinen die Gleichgewichtsstellung der Nadeln eine andere werden. Abgesehen von anderen denkbaren Fällen, die kein

(¹) Physikalische Abhandlungen der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Aus dem Jahre 1851. 4. S. 6. (8); — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1851. Bd. LXXXIII. S. 474.

praktisches Interesse haben, trifft dies nur dann nicht zu, wenn 1. die magnetischen Axen beider Nadeln in Einer Ebene liegen, und wenn 2. diese Ebene zusammenfällt mit der, welche das in sich völlig gleichartig gedachte Gewinde der Länge nach hälftet. Alsdann nämlich werden die obigen drei Kräfte gleichzeitig in jeder Höhe Null, und folglich die Stellung des Nadelpaares unabhängig von der Länge des Fadens. Allein dies setzt, wie man sieht, wiederum voraus, dafs das Nadelpaar centrisch hänge. Bei der Schwierigkeit, die hier vorgeschriebenen Bedingungen in Strenge zu erfüllen, und der verhältnifsmäfsig geringen Sorgfalt, die wohl darauf verwendet worden ist, bin ich überzeugt, dafs dies der wahre und einfache, wenn auch ziemlich verborgene Grund jener ewigen Schwankungen der Gleichgewichtslage des Nadelpaares ist, welche den früheren Beobachtern, und vormals mir selber, so viel zu schaffen machten, und die man sich durch Luftströmungen, durch thermisch bewirkte Änderungen in der Intensität der Nadeln u. d. m. stets nur dürftig erklärte ([1]). Man sehe z. B. die Hypothesen, in denen sich darüber Melloni ergeht, der übrigens die freiwillige Ablenkung astatischer Nadelpaare, deren Theorie schon Nobili richtig gegeben hatte, unbegreiflicherweise von der Torsion des Fadens ableitete ([2]).

Natürlich wird man sich jetzt nicht damit begnügen, die Nadeln möglichst zu centriren, sondern man wird zugleich suchen, die Länge des Fadens beständig zu erhalten, indem man die Luft unter der Glocke austrocknet. In der That habe ich, seit ich dies thue, von jenen Schwankungen nichts mehr verspürt, obschon ich den erhabenen Rand um die Theilung, den ich zum Schutze der oberen Nadel gegen Luftströmungen empfahl ([3]), längst aufgegeben habe. Die Austrocknung kann auch sonst nur einen günstigen Einflufs auf den Isolationszustand des Gewindes ausüben. Als Austrocknungsmittel gebe ich aus verschiedenen Gründen dem *Kali kausticum fusum* (*in baculis*) den Vorzug. Um das Kali zu beherbergen, habe ich Porzellangefäfse von geeigneter Gestalt anfertigen lassen, die jederseits vom Rahmen zwischen demselben und dem die Nadeln tragenden Bügel Platz finden. Wenn längere Zeit nicht gearbeitet wird, thut man wohl, die

---

([1]) Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 192.

([2]) La Thermochrôse ou la Coloration calorifique etc. Naples 1850. p. 33 et suiv.

([3]) Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 485.

Gefäſse zu entfernen, damit nicht überkletterndes kohlensaures Kali Schaden stifte.

Nobili wollte bekanntlich, daſs die untere Nadel die stärkere sei, weil dabei die Summe der elektrodynamischen Wirkungen, die das System erfährt, gröſser ausfalle (¹). Man könnte einwenden, daſs dafür die Astasie des Systemes dadurch vermindert werde, daſs die ohnehin stärkere untere Nadel mehr als die schwächere obere durch den Strom gestärkt werde. Auf alle Fälle glaube ich, daſs wenn ja ein Verlust an Empfindlichkeit daraus entspränge, daſs die obere Nadel die stärkere ist, er durch den Vortheil aufgewogen würde, daſs man gelegentlich, ohne das Nadelpaar aus dem Rahmen zu entfernen, der Astasie nachhelfen kann. Dazu braucht man nur den Faden herabzulassen, so daſs die obere Nadel auf der Theilung ruht, und diese Nadel wieder mit der Streichnadel verkehrt zu streichen. Während man die eine Hälfte der Nadel streicht, hält man die andere mittels eines aufgedrückten Haarpinsels fest.

Schlieſst man einen Multiplicator durch einen Draht von verschwindendem Widerstande, so üben die Windungen auf die schwingende Nadel eine dämpfende Wirkung aus, die im Allgemeinen mit der Masse der Windungen wächst, aber unabhängig davon ist, ob die Windungen zu halber Länge und doppelter Dicke, oder zu ganzer Länge und einfacher Dicke verbunden sind. Bei den Nerven- und auch schon bei den Muskel-Multiplicatoren erreicht diese Wirkung einen solchen Grad, daſs die Nadel dadurch ziemlich eben so schnell beruhigt wird, als man dies, selbst bei ansehnlicher Übung, durch ein Magnetstäbchen zu thun vermag (²). Lasse ich die Nadel meines Multiplicators von 24160 Windungen von 90° fallen, das einemal bei offenem, das anderemal bei geschlossenem Multiplicatorgewinde, so erhalte ich folgende Reihe von Ausschlägen:

Gewinde						
offen:	+ 90	− 60	+ 26	− 18	+ 10	u. s. w.
geschlossen:	+ 90	− 28	+ 8	− 6	+ 2.	

Der nächste negative Ausschlag kann wegen des Ausschnittes in der Theilung zum Durchlassen der unteren Nadel nicht mehr abgelesen werden. Bei Versuchsreihen, wo man rasche Beruhigung der Nadel braucht und ander-

(¹) Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 173.
(²) Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 192.

weitig zu thun hat, namentlich aber in Vorlesungen, ist dies Verfahren sehr nützlich.

Hr. Sauerwald giebt, auf meine Veranlassung, seinen grofsen Multiplicatoren einen Stromwender bei, der mit Leichtigkeit verschiedene Combinationen der beiden Multiplicatordrähte mit der Kette und mit einer Nebenschliefsung herzustellen erlaubt. Mit Hülfe davon kann man 1) die Kette, mit Ausschlufs des Multiplicators, in sich schliefsen, 2) den Strom nur durch eine bestimmte Windung, 3) durch beide Windungen hintereinander oder 4) zugleich hindurchlassen, 5) eine Nebenschliefsrolle aus Neusilberdraht zum Multiplicator anbringen, wodurch er, bei ganzer Länge und einfacher Dicke, die passende Empfindlichkeit für den Muskelstrom erlangt; endlich 6) den Strom im Multiplicator bei irgend einer dieser Combinationen umkehren. Ich selber verdanke den HH. Siemens und Halske einen noch vollständigeren Stromwender, welcher nämlich den Strom auch noch beliebig durch die eine oder die andere der beiden Windungen zu senden erlaubt. Von Wichtigkeit unter diesen Combinationen sind indefs nur die mit 1., 3., 5., und 6. bezeichneten. Mit Hülfe geeigneter Nebenschliefsungen läfst sich dem Multiplicator jeder gewünschte Grad von Unempfindlichkeit geben. Die Verminderung des Widerstandes des Multiplicators durch gleichzeitige Benutzung beider Drähte kommt bei thierisch-elektrischen Versuchen kaum jemals vor. Ja, da neuerdings mehrmals Multiplicatorgewinde dadurch unbrauchbar geworden sind, dafs die beiden Drähte sich irgendwo im Inneren metallisch berührten, die Anwendbarkeit des Multiplicators als Becquerel'sches Differentialgalvanometer aber vollends entbehrlich erscheint, so habe ich Hrn. Sauerwald gerathen, das einst von Nobili eingeführte Bewickeln der Rahmen mit zwei Drähten überhaupt ganz aufzugeben. Freilich wird das Bewickeln mit nur Einem Drahte insofern mühsamer, als doppelt so viele Windungen aufzutragen sind. Dafür legt sich indefs ein Draht leichter zurecht als zwei, und man hat die Sicherheit, dafs durch einen etwa entstehenden Isolationsfehler nie mehr als höchstens zwei Lagen aufser Wirkung kommen.

Der Stromwender mufs nicht auf dem Consol angebracht sein, da das Handhaben der Vorreiber die Nadeln erschüttern könnte.

Unter den Combinationen des Stromwenders fehlt zwar die, deren man bedarf, um die Beruhigung der Nadeln durch Dämpfung möglichst voll-

kommen zu bewerkstelligen, nämlich das Schliefsen des Multiplicators durch einen kurzen metallischen Bügel. Inzwischen leistet das Schliefsen durch die Nebenschliefsrolle (Combination 5) fast das Nämliche, da es an meinem Multiplicator, beim Fallenlassen der Nadel von der Hemmung, folgende Reihe von Ausschlägen liefert: + 90 — 32 + 8.5 — 6 + 3, die, wie man sieht, mit der ohne Rolle gewonnenen so zusammenfällt, dafs es auf den Unterschied nicht ankommt.

Um die Übersicht der Versuche zu erleichtern, ist es vortheilhaft, die Verbindungen so herzustellen, dafs das beobachtete Ende der Nadel sich im gleichen Sinne bewegt, wie der Strom zwischen den Zuleitungsgefäfsen.

Sollen Ablenkungen, oder Veränderungen derselben, von nur wenigen Graden beobachtet werden, so wird es, um Täuschungen durch die Parallaxe der Nadel in Bezug auf die Theilung zu vermeiden, nothwendig, sich eines Fernrohres zu bedienen, welches so aufgestellt sein mufs, dafs es der Nadel in ziemlich hohe Ablenkungen folgen kann. Statt auf die in meinem Werke, a. a. O. S. 484. 485, beschriebene Art, kann dies auch so geschehen, dafs das Fernrohr auf einem kreisförmigen Schlitten um den Multiplicator läuft. Eine solche Einrichtung hatte Hr. Halske die Güte, für mich auszuführen. Beiden Anordnungen, wobei das Fernrohr die Nadel schräg durch die Glocke betrachtet, ist wohl die schon vor langer Zeit von Hrn. Lenz angewendete vorzuziehen, bei der über der Spiegelplatte, die oben die Glocke schliefst, ein passend geneigter Spiegel oder ein Prisma angebracht wird, worin ein wagerechtes Fernrohr das Bild der Nadel erblickt (1).

Schliefslich stelle ich die Literatur über die Hydro- und Thermomultiplicatoren, seit dem Eingangs bezeichneten Zeitpunkte, so weit sie uns angeht und in dem Vorigen noch nicht berührt wurde, hier zusammen.

1. Lenz, Poggendorff's Annalen u. s. w. 1849. Bd. LXXVI. S. 500.
2. Reuben Philips, The Philosophical Magazine etc. 1849. vol. XXXIV. p. 502; — L'Institut. 1849. t. XVII. No. 819.
3. Donovan, Transactions of the Royal Irish Academy. vol. XXII. Dublin 1849. 4. P. III. p. 233.
4. Buff, Annalen der Chemie und Pharmacie. 1854. Bd. XC. S. 186.
5. De la Provostaie, Annales de Chimie et de Physique. Octobre 1858. 3me Série. t. LIV. p. 129.

(1) Poggendorff's Annalen u. s. w. 1835. Bd. XXXIV. S. 387.

6. Wiedemann, Die Lehre von den Wirkungen des galvanischen Stroms in die Ferne. Braunschweig 1861. S. 210.
7. Dub, Der Elektromagnetismus. Berlin 1861. S. 27.
8. Magnus, Monatsberichte der Akademie. 1861. S. 248.

§. II. Vom Gebrauch der Spiegelbussolen zu thierisch-elektrischen Versuchen.

Schon in meinen „Untersuchungen" vom Jahre 1848 (1) habe ich die Vermuthung ausgesprochen, dafs man zur messenden Beobachtung der thierisch-elektrischen Ströme sich der Poggendorff'schen, von Gauss und Hrn. Weber vervollkommneten Methode der Spiegelablesung würde bedienen können. Auch habe ich bereits im April 1851 im physikalischen Cabinet zu Leipzig mit Hrn. Hankel den Muskelstrom am Elektrodynamometer beobachtet, und Hr. Helmholtz hat das Jahr darauf in Königsberg seinen Zuhörern meine Versuche an einer Spiegelbussole mittels des später von mir beschriebenen Verfahrens gezeigt, wobei die Ablenkung des Spiegels durch die Bewegung eines davon zurückgeworfenen Lichtbündels sichtbar wird (2). So lange indessen die Ladungen der Platinelektroden messende Versuche in diesem Gebiete überhaupt vereitelten, fehlte es an einer bestimmten Veranlassung, den Multiplicator für die Spiegelbussole aufzugeben. Als aber durch die Erfindung der unpolarisirbaren Elektroden dies Hindernifs beseitigt war, wies ich sogleich auf den Vortheil hin, den jetzt die Spiegelablesung hier verspreche. „Mit den absolut gleichartigen, unpolarisirbaren „verquickten Zinkelektroden zur Ableitung; mit dem Princip der Neben„leitung zur Erzeugung auf's Feinste abgestufter elektromotorischer Kräfte „jeder Ordnung; endlich mit der Spiegelbussole, die, bei gleicher Empfind„lichkeit mit dem Nerven-Multiplicator, keiner schwierigen und vergänglichen „Graduirung mehr bedarf: steht jetzt nichts mehr in diesem Gebiete," sagte ich damals, „der Ausführung messender Versuche entgegen, und eine neue „Bahn wichtiger Untersuchungen ist eröffnet" (3).

(1) A. a. O. Bd. I. S. 197.

(2) Vergl. E. du Bois-Reymond in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1855. Bd. XCV. S. 607 „Über ein Verfahren, um feine galvanometrische Versuche einer gröfseren Versammlung zu zeigen". — Übersetzt in The Philosophical Magazine etc. 4. Ser. vol. XI. p. 109.

(3) Monatsberichte u. s. w. 30. Juni 1859. S. 485.

In demselben Aufsatz, S. 452, führte ich an, dafs meine von Hrn. Sauerwald nach Hrn. Wiedemann's Modell gebaute Bussole, mit 12000 Windungen feinen Drahtes versehen, bei 2285^{mm} Abstand der Scale vom Spiegel, ohne dafs diesem etwas von seiner Richtkraft genommen werde, bereits eine Empfindlichkeit zeige, die sich der des Nerven-Multiplicators nähere, indem dieser, zwei seiner Grade auf einen Scalentheil gerechnet, innerhalb der ersten 55° allerdings die gröfsere relative, und innerhalb der ersten 65° die gröfsere absolute Empfindlichkeit besitze, darüber hinaus jedoch der Bussole mehr und mehr nachstehe ([1]).

Für die meisten Versuche über den Muskelstrom reicht die Empfindlichkeit der Bussole in dem bezeichneten Zustande aus. Ein *Adductor magnus* vom Frosch, auf die Thonschilder der sogleich zu beschreibenden neuen Zuleitungsgefäfse mit Längsschnitt und künstlichem Querschnitt aufgelegt, giebt gegen 300^{sc} (Scalentheile) beständiger Ablenkung. Für den Nervenstrom dagegen ist die Bussole, wegen der linearen Gestalt ihrer Intensitätencurve, unter denselben Umständen noch nicht empfindlich genug, da ein Ischiadnerv vom Frosch höchstens 25^{sc} beständiger Ablenkung giebt; und ebensowenig würde sie für die negative Schwankung des Muskelstromes des einen Armes ausreichen. Um die Empfindlichkeit zu erhöhen, gebietet man über verschiedene Mittel. Man kann die Anzahl der Windungen, die Entfernung der Scale vom Spiegel, die Vergröfserung des Fernrohrs steigern; man kann

---

([1]) Um dies zu prüfen, hatte ich durch beide Instrumente hintereinander einen von einer beständigen Kette abgeleiteten Stromzweig geschickt, dessen Stärke durch Verlängern der Nebenschliefsung schrittweise erhöht wurde. Mit gleicher absoluter Empfindlichkeit ist im Obigen gemeint, dafs die beiden Instrumente um dieselbe Zahl gleichwerthiger, d. h. also z. B. durch Schätzung gleich sicher in Zehntel zu theilender Abschnitte ihrer Theilung abgelenkt werden, mit gleicher relativer Empfindlichkeit, dafs ein gleicher Stromzuwachs einen gleichen Ablenkungszuwachs bewirkt. Trägt man auf eine Abscissenaxe, welche die wachsenden Stromstärken bedeutet, die entsprechenden Ablenkungen des Multiplicators und der Spiegelbussole als Ordinaten auf, so liegt die stark gegen die Abscissenaxe concave Multiplicatorcurve anfangs über der Geraden, welche den Gang der Bussolenablenkungen darstellt, bei etwa 55° ist die Tangente an der Multiplicatorcurve dieser Geraden parallel, d. h. die relativen Empfindlichkeiten sind gleich, bei etwa 65° schneiden sich die Curve und die Gerade, oder die absoluten Empfindlichkeiten sind dieselben, endlich bei 90° schliefst sich die Curve einer der Abscissenaxe parallelen Geraden asymptotisch an, während die Gerade bis zu den Grenzen der Scale, 1000 Graden oder 500 Scalentheilen entsprechend, ihre Richtung behält.

endlich auch die Richtkraft des Spiegels vermindern, indem man die Wirkung der Erde durch die eines passend genäherten Magnetes zum Theil aufhebt. Bei dem letzteren Verfahren gelingt es sehr leicht, auch für die Versuche an Nerven eine überflüssige Empfindlichkeit herzustellen.

Welch grofser Vortheil aus dem linearen Gange der Intensitätencurve an der Spiegelbussole entspringe, auch wenn man gar keine Messungen bezweckt, bedarf nicht der Erwähnung. Die relative Empfindlichkeit bleibt bei jeder noch verwendbaren Ablenkung die nämliche, und von dem Verhältnifs grofser und kleiner Stromstärken erhält man unmittelbar eine richtige Vorstellung, statt des mehr oder weniger verzerrten Bildes, welches jede andere galvanometrische Vorrichtung davon entwirft. Die Spiegelbussole erfüllt ohne Weiteres das Bedürfnifs der Elektrophysiologie nach einem Galvanoskop von grofser Empfindlichkeit bei kleiner Schwingungsdauer des magnetischen Systems. Die starke Dämpfung der Schwingungen durch die Kupferhülse ist in unseren Versuchen, wo es sich, wie ich zeigen werde, auch bei unpolarisirbaren Zuleitungsgefäfsen noch stets um unbeständige Ströme handelt, von unschätzbarem Nutzen. Nimmt man hinzu, dafs die Spiegelbussole von all den Schwierigkeiten der Handhabung, die dem Multiplicator mit astatischem Nadelpaar stets anhaften werden, frei ist, und dafs ihr Preis, mit Inbegriff eines Steinheil'schen Fernrohrs, den eines Multiplicators ersten Ranges lange nicht erreicht, so drängt sich die Frage auf, ob nicht überhaupt der Multiplicator ganz für die Spiegelbussole aufzugeben sei. Wirklich mufs ich sagen, dafs ich selbst mich seit jenem Zeitpunkte mit grofsem Vortheil der Bussole fast ausschliefslich zu meinen Untersuchungen bedient habe.

Inzwischen hat diese auch ihre Mängel. Sie verlangt zu ihrer Aufstellung Räumlichkeiten, über die nicht Jeder verfügt; und obschon ein Multiplicator, wie eben bemerkt wurde, theurer sein kann, als Bussole und Fernrohr, so kann er doch auch weit billiger hergestellt werden. In dem Stübchen, wo ich den gröfsten Theil meiner Untersuchungen gemacht habe, hätte ich keine Spiegelbussole aufstellen können, selbst wenn meine Mittel mir damals erlaubt hätten, eine solche anzuschaffen, anstatt mir einen Multiplicator zu bauen. Dies sind Verhältnisse, die heute, wo jede Universität ihr physiologisches Laboratorium hat, nicht wiederkehren

können. Aber Anderes bleibt zum Troste derer zu erwägen, die sich jetzt vielleicht ungern auf den Gebrauch des Multiplicators angewiesen sehen. Das leichte Nadelpaar eines Multiplicators ist für Erschütterungen viel weniger empfindlich als der Spiegel. Die Störungen durch die elektromagnetischen Eisenkerne, z. B. des Magnetelektromotors, des Fallhammers, machen sich an der Bussole auf viel gröfsere Entfernungen sichtbar als am Multiplicator. Die Unstetigkeit des Nullpunktes an der Bussole ist lästig, selbst wenn dem Magnet nichts von seiner Richtkraft genommen wird. Sie wächst mit wachsender Astasie zuletzt zu einem unerträglichen Mifsstande. Nachts bleibt die Beleuchtung der Scale in solcher Ausdehnung, wie sogenannte qualitative Versuche es erheischen, bei denen man oft nicht vorher weifs, in welcher Richtung und Gröfse der Ausschlag erfolgen wird, stets eine mifsliche Aufgabe. Namentlich aber ist an der Spiegelablesung auszusetzen, dafs man dabei nicht, während man mit einem Versuch beschäftigt ist, zugleich aus der Ferne und mit Einem Blick übersieht, was im Kreise vorgeht. Die Stellung der Nadel auf der Multiplicatortheilung, der Sinn ihrer Bewegung, verrathen selbst im indirecten Sehen sofort den elektrischen Vorgang; die Spiegelbussole dagegen verlangt immer eine mit dem Auge am Fernrohr gemachte Ablesung. Ist der Versuch der Art, dafs man ihn erst vollständig einrichten, und dann ohne hinzusehen durch eine einfache Handbewegung die beabsichtigte Wirkung herbeiführen kann, so hat dies nichts zu bedeuten. Viele Versuche erlauben aber nicht ein solches Verfahren, und alsdann braucht man zum Ablesen der Bussole einen Gehülfen, was namentlich bei qualitativen Versuchen unbequem ist, wo die Beobachtungen sich nicht regelmäfsig folgen, sondern jeden Augenblick durch Überlegungen und durch Vorbereitungen, deren Bedürfnifs sich einstellt, unterbrochen werden können. Auch zur Demonstration ist die Spiegelbussole nicht geeignet, wenn man nicht schon für zwei Personen zu dem ziemlich umständlichen Verfahren greifen will, dessen oben S. 83 gedacht wurde.

Es bleiben somit den Multiplicatoren für jetzt auch noch einige Vorzüge, und da sie ohnehin zur Zeit die am meisten verbreitete galvanometrische Vorrichtung sind, so habe ich es nicht für unnütz gehalten, hier noch einmal auf deren Handhabung zurückzukommen.

Die Theorie der Spiegelbussolen findet sich an verschiedenen Stellen so vollständig entwickelt und ihre Behandlung ist so einfach, dafs darüber nichts weiter zu sagen ist. Doch will ich bemerken, dafs ich mich bei längerem Gebrauch derselben zu elektrophysiologischen Zwecken nicht in die von den magnetischen Beobachtungen herstammende Gewohnheit habe finden können, eine in 1000 Millimeter getheilte Scale so anzuwenden, dafs der Faden ungefähr mit der Mitte ihrer Länge zusammenfällt. Bei messenden Versuchen nach vorher bestimmtem Plan, deren Ergebnisse rechnend verwerthet werden sollen, mag dieses Verfahren am Platze sein. Bei qualitativen Versuchen dagegen, wo es darauf ankommt, das Ergebnifs augenblicklich zu fassen um darauf weiter zu bauen, ziehe wenigstens ich die unmittelbare Anschauung einer Zahl, deren Gewinnung durch Subtraction zweier vierstelligen Zahlen von einander vor. Meine Scale hat daher den Nullstrich in der Mitte, und ich verschiebe sie vor jedem Versuch mittels Zahn und Trieb so, dafs der Faden den Nullstrich deckt. Entsprechend der oben S. 82 für die Aufstellung der Multiplicatoren gegebenen Regel ist die Anordnung getroffen, dafs der Faden sich im Fernrohr über die Scale scheinbar in der Richtung bewegt, wie der Strom zwischen den Zuleitungsgefäfsen auf dem Tisch vor mir. Um aber auch, wenn das Scalenbild unbeweglich abgelenkt ist, den Sinn sofort zu erkennen, in dem dies geschah, sind die Zahlen der im Fernrohr rechts erscheinenden Scalenhälfte roth, die der anderen wie gewöhnlich schwarz mit der Schablone aufgetragen ([1]).

([1]) Zu meiner Freude erfuhr ich, nachdem der vorliegende Paragraph im Wesentlichen druckfertig war, auf der Reise durch Göttingen gegen Ende April d. J., von Hrn. Professor Meissner, dafs er sich mit dem im Bau der Instrumente mit Spiegelablesung so erfahrenen Hrn. Inspector Meyerstein verbunden habe, um ein für elektrophysiologische Zwecke geeignetes Galvanometer der Art zu Stande zu bringen. Dasselbe ist seitdem unter dem vielleicht nicht ganz bezeichnenden Namen eines Elektrogalvanometers in Henle's und Pfeuffer's Zeitschrift (3. Reihe. Bd. XI. S. 193) und in Poggendorff's Annalen (1861. Bd. CXIV. S. 132) beschrieben worden, und seine Leistungen lassen, wie es scheint, kaum etwas zu wünschen übrig. Der Magnetstab, mit dessen Hülfe die Richtkraft des beweglichen Magnetes verkleinert wird, ist hier gleich an dem Instrumente in passender Weise angebracht, wodurch die Aufstellung sehr erleichtert wird.

Sinnreich, und den Verfassern eigenthümlich, ist die Spaltung dieses Hülfsmagnetes in einen stärkeren unverrückt bleibenden, und einen schwächeren verschiebbaren, wodurch erreicht wird, dafs man, um eine hinreichend kleine Abänderung der Wirkung auf den aufgehängten Magnet auszuüben, nicht, wie es sonst der Fall sein würde, einer

§. III. Von den Zuleitungsgefäfsen.

Das cylindrische Glasgefäfs, mit innen angekitteter Holznase zum Unterstützen der Bäusche, wie es in meinen „Untersuchungen" als Zuleitungs-

---

aufserordentlich feinen Einstellung des festen Magnetes bedarf. Die Verfasser irren jedoch, wenn sie die Anwendung eines festen Magnetes zum Astatischmachen eines beweglichen für etwas Neues halten, und Hrn. W. Weber zuschreiben, da dies allbekannte und längst zum Gemeingut gewordene Verfahren nicht nur der Anwendung der Doppelnadel im Multiplicator durch Nobili, sondern sogar ihrer Erfindung durch Ampère vorherging. Hauy gab dasselbe 1817 an, um die Compassnadel der Mineralogen zu befähigen, schwache Spuren von Magnetismus sichtbar zu machen. (Mémoires du Muséum d'Histoire naturelle etc. 4. t. III. 1817. p. 172; — Annales des Mines etc. 1817. t. II. p. 329; — Gilbert's Annalen der Physik. 1819. Bd. LXIII. S. 104.) Dieses Kunstgriffes bedienten sich sodann Hr. Biot und Savart im Jahre 1820 bei ihrer Untersuchung über das Gesetz, wonach die Wirkung des Stromes auf die Magnetnadel mit der Entfernung abnimmt, um die schwingende Nadel der Erdkraft zu entziehen. (Annales de Chimie et de Physique. 1820. t. XV. p. 222; — Ampère et Babinet, Exposé des nouvelles Découvertes sur l'Électricité et le Magnétisme. Paris 1822. p. 59; — Fechner's Bearbeitung von Biot's Lehrbuch der Experimental-Physik u. s. w. Leipzig 1829. Bd. IV. S. 158). In der Abhandlung vom Jahre 1825, worin er den Multiplicator mit Doppelnadel beschreibt, führt Nobili selbst an, dafs die Physiker sich bisher, um die Empfindlichkeit des Schweigger'schen Galvanometers zu erhöhen, eines darunter angebrachten Magnetstabes bedient hätten, welcher die richtende Kraft der Erde verminderte. (Memorie ed Osservazioni ec. Firenze 1834. vol. I. p. 2.) Als Melloni 1841 vorschlug, die Astasie eines Nadelpaares auf diese Weise zu vergröfsern (Archives de l'Électricité. 1841. t. I. 656), erinnerte Hr. Poggendorff sogleich wieder daran, dafs in Deutschland dieses Mittel bei einfachen Nadeln längst angewandt worden. (Poggendorff's Annalen u. s. w. 1842. Bd. LVI. S. 370.) Ich selbst habe mich desselben, seit ich den Multiplicator mit der Bussole vertauscht habe, stets bedient, um, wo es nöthig war, die Richtkraft des Spiegels zu schwächen; wie aus meinen oben S. 84 angeführten Worten erhellt, mit denen nicht gemeint sein konnte, dafs ich dem Spiegel selber Magnetismus nahm, da bekanntlich die Stärke des Magnetismus einer Nadel aus dem Ausdruck für die Gröfse ihrer Ablenkung durch den Strom verschwindet (Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 166. 167).

Bei dem Verdammungsurtheil, welches sie über das astatische Nadelpaar fällen, scheinen die Verfasser die eigentliche Spitze der Nobili'schen Erfindung zu übersehen, den glücklichen Umstand nämlich, dafs die Wirkung der oberen Windungen auf die obere Nadel die ablenkende Kraft um fast die Hälfte vermehrt, während überdies die eine Nadel die andere verstärkt, statt dafs bei ihrem Verfahren die Nadel durch den festen Magnet geschwächt wird. Da es gerade die Aufgabe ist, möglichst grofse Empfindlichkeit bei möglichst kleiner Astasie zu erzielen, so bin ich gar nicht so gewifs, ob es an Stelle der von den HH. Meissner und Meyerstein getroffenen Einrichtung nicht vortheilhafter wäre, wie Gauss selber es vor bald dreifsig Jahren vorschlug (Göttingische Gelehrte Anzeigen. 1832. St. 206. 207. S. 2055; — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1833. Bd. XXVIII. S. 251. Anm.), eine Dop-

gefäſs bei thierisch-elektrischen Versuchen beschrieben und abgebildet ist, habe ich längst mit einleuchtendem Vortheil ersetzt durch ein viereckiges Porzellangefäſs, dessen vorderer innerer Wand ein Karnies aus demselben Stoffe angeformt ist.

Was die Behandlung der Platinplatten betrifft, so hat so mancherlei Neues, was ich darüber sagen könnte, sein Interesse eingebüſst durch die Entdeckung der merkwürdigen Eigenschaften des verquickten Zinkes in schwefelsaurer Zinkoxydlösung ([1]). Ich wüſste keinen Fall, wo nicht diese Combination dem Platin in Kochsalzlösung unbedingt vorzuziehen wäre, und begnüge mich daher mit der Berichtigung eines Irrthums, in den ich bei meinen früheren Äuſserungen über diesen Gegenstand verfallen bin.

Ich habe mir nämlich immer vorgestellt, daſs wenn an die Grenze der Messingklemmen und der Platinplatten an meiner Vorrichtung Salzlösung hingelangt, das Platin der betroffenen Seite positiv erscheine ([2]). Die beiden einander berührenden Metalle mit dem die Berührungsstelle benetzenden Elektrolyten dachte ich mir als ein flaches Erregerpaar in dem von mir aufgestellten Sinne ([3]), und glaubte, daſs wenn man die beiden Metalle durch den Multiplicator verknüpfe, der Stromzweig sichtbar werde, der sich bei dieser Anordnung, trotz der Nebenschlieſsung durch die Berührungsstelle selber, doch auch durch den Multiplicator ergieſsen muſs. Der unmittelbare Versuch hat mich aber des Gegentheiles belehrt. Ich löthete einen Kupfer- und einen Zinkdraht, beide von 1.3^{mm} Durchmesser, aneinander, brachte sie in den Multiplicatorkreis, und benetzte die Löthstelle mit verdünnter Schwefelsäure. Es gab sich selbst mit halber Länge und doppelter Dicke des Muskel-Multiplicators keine Spur von Wirkung zu erkennen. An der Spiegelbussole erschien, bei nur 53 Windungen dicken Drahtes, eine Ablenkung von etwa 1^{sc}. Da aber dadurch das Kupfer, statt negativ, positiv gegen das Zink angezeigt

pelnadel von kräftigen Verhältnissen mit Dämpfung und Spiegelablesung zu versehen, wobei Einem immer noch unbenommen bliebe, die Astasie nach Melloni's Vorschlag mittels des Hauy'schen Verfahrens zu erhöhen. Auch würde so die lästige Empfindlichkeit gegen magnetische Fernwirkungen vermindert sein. (Nachträgliche Anmerkung.)

([1]) E. du Bois-Reymond, Über nicht polarisirbare Elektroden. Monatsberichte 1859. S. 443.

([2]) Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 218. 220.

([3]) Ebendas. S. 581.

wurde, so war dieselbe wohl thermoëlektrischen Ursprungs. Wenn also durch ein scheinbar die Grenze der Messingklemmen und Platinplatten benetzendes Tröpfchen Salzlösung eine Ungleichartigkeit entsteht, so geschieht dies vermuthlich so, daſs die Lösung in dem Capillarspalt zwischen den Metallen bis zu Stellen eindringt, die von solchen Punkten, wo die Metalle einander wirklich berühren, hinreichend weit entfernt sind, damit der Widerstand der dadurch gebotenen Bahn nicht völlig verschwinde gegen den des Multiplicatorkreises.

Man kann natürlich die allgemein verbreiteten viereckigen Zuleitungsgefäſse aus Porzellan mit ihren Ständern, Messingklemmen und Sicherheitsplatten, wie sie zur Aufnahme zweier Platinplatten bestimmt waren, jetzt auch mit einer verquickten Zinkplatte anwenden, und wird dies in den Versuchen ohne Bäusche, z. B. über die negative Schwankung des Muskelstromes des einen Armes, mit allem Vortheil thun. Viel bequemer zu den Versuchen mit Bäuschen ist die in Fig. 1. Taf. I. dargestellte ([1]), von Hrn. Sauerwald nach meiner Angabe verfertigte, kleine Vorrichtung; ja wer dieselbe bisher gehandhabt hat, ist einig mit mir darüber, daſs sich wohl nur noch wenig daran verbessern lasse.

Auf einen isolirenden Fuſs von Kammmasse ist das aus Zink gegossene Zuleitungsgefäſs geschraubt. Auſser dem eingetauchten Theile des Bausches faſst dasselbe nur wenige Cubikcentimeter der Lösung. Innen wird es mit Berjot's Flüssigkeit ([2]) verquickt, auſsen und an den Rändern, welche aber vorher gleichfalls verquickt worden sind, mit Lack überzogen. Der der Hinterseite des Gefäſses angegossene Hals trägt einen Knopf aus Kammmasse zum Stützen des Ballens bei feinen Verrichtungen auf den Bäuschen; auch dient er als Henkel zum Anfassen des Gefäſses beim Verquicken, Lackiren, Ausspühlen u. d. m. *k* ist eine Doppelklemme zur Aufnahme erforderlichenfalls zweier Drähte. Der Bausch nimmt wie bei den Porzellangefäſsen die ganze Breite des Gefäſses ein. Mit dem unteren Ende seines senkrecht in das Gefäſs hinabragenden Theiles stützt er sich unmittelbar auf dessen Boden, mit der unteren Fläche seines wagerecht vorgestreckten Theiles ruht er auf der verquickten Fläche eines Karnieses, welches

([1]) Der Maſsstab von 0.66 bezieht sich auf die dem Beschauer zugekehrte senkrechte Kante des Gefäſses.

([2]) Comptes rendus etc. 9 Août 1858. t. XLVII. p. 273.

eine Verbreiterung des vorderen Randes des Gefäfses vorstellt. Von den seitlichen Rändern des Gefäfses erheben sich Wangen, welche den Bausch vollends gegen seitliche Verschiebung sichern und die Zinkoberfläche vergröfsern, die auf möglichst kurzem Wege durch die Lösung von den dem Bausch aufliegenden thierischen Theilen aus erreicht wird. Das Gleiten des Bausches nach rückwärts wird verhindert durch ein Schild aus Kammmasse, welches mittels eines in die Hohlkehle des Karnieses gelegten Kautschukringes gegen den Rücken des Bausches federt. Der hintere Rand der Wangen ist nach der Gestalt dieses Rückens ausgeschnitten. Der Bausch mufs so dick sein, dafs er das Schild überall von diesem Rande abhält und so den Druck des Schildes vollständig erfährt. Das Schild ist in Fig. 2 *a* von hinten besonders dargestellt. Ausschnitte *a*, *a'* am seitlichen Rande des Schildes verhüten das Ausspringen des Kautschukringes. Der untere Rand des Schildes verschiebt sich auf dem oberen Rande des Gefäfses, den die Figur im Durchschnitt zeigt (*r*, *r'*), und zwei von jenem unteren Rande in's Gefäfs ragende Zapfen (*z*, *z'*) verhindern, dafs das Schild seitlich ausweiche. Diese Einrichtung bietet gegen die ältere den Vortheil, dafs die obere Fläche des Bausches von allen Seiten her zugänglich ist. Sonst nämlich wurde dem Rückwärtsgleiten des Bausches dadurch vorgebeugt, dafs man die Platinplatten aus der Flüssigkeit hob und gegen den Rücken des Bausches drückte ([1]), wo dann die den Bausch überragenden Messingklemmen dessen obere Fläche nach hinten oft störend beschränkten.

Der wesentliche Unterschied zwischen der Handhabung der neuen und der der alten Zuleitungsgefäfse besteht darin, dafs während diese, um gleichartig zu bleiben, aufser der Arbeitszeit, ja zwischen je zwei Versuchen, sorgfältig mufsten geschlossen gehalten werden, diese Nothwendigkeit bei den neuen Gefäfsen fortfällt. Sobald und so oft man die Vorrichtung zusammenstellt, ist sie gleichartig; sollte sie es mit der Zeit in geringerem Mafse erscheinen, so genügt erneutes Verquicken, um den besten Zustand wieder herzustellen. Die einzige Sorge ist also die, dafs die Flüssigkeit in den Bäuschen und Gefäfsen gleichartig bleibe, am sichersten gesättigt, jedoch ohne dafs das Zinksalz auskrystallisire. Dazu ist nur nöthig die Vorrichtung, mit einem Vorrath ungelöster Krystalle am Boden der Gefäfse, in der feuchten Kammer aufzubewahren.

([1]) Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 222. Taf. I. Fig. 12.

§. IV. Von den Bäuschen.

Ein anderes Material zum Ersatz der Fliefspapierbäusche ist mir zu finden noch nicht gelungen. Doch giebt es einen Kunstgriff, der ihre Anfertigung sehr erleichtert, nämlich sie im feuchten Zustande mit einer langen geraden und breiten Klinge (einem Tischmesser) zu schneiden, wobei das durch Capillaranziehung bewirkte Haften der Blätter aneinander den Druck der Presse ersetzt. Das Messer schärft man jedesmal, nachdem man eine Fläche am Bausch hergestellt hat, mit einer Schmirgelfeile, welche genau die passende Art von Schneide erzeugt. Ferner pflege ich die Bäusche jetzt an dem Ende, womit sie in die Lösung tauchen, zusammenzunähen, wie ich dies zur Befestigung des Keilbausches an den Zuleitungsbausch angegeben habe ([1]). Dies erlaubt sie gelegentlich, wenn sie längere Zeit ruhen sollen, unter Lösung aufzubewahren, ohne dafs ihre Blätter sich verschieben, auch wohl gänzlich von einander lösen. Das Aufbewahren geschieht am besten in weiten und niedrigen Standgefäfsen mit aufgeschliffenem Glasdeckel, wie man sich ihrer zu Gehirnpräparaten u. d. m. bedient.

§. V. Vom Modellirthon als Ersatzmittel der Eiweifshäutchen.

Mit den von mir sogenannten und früher empfohlenen Eiweifshäutchen hatte ich längst Ursache wenig zufrieden zu sein. Die Blase ist oft ungleich dick, fett, fault leicht und steckt das zum Aufweichen benutzte Hühnereiweifs an, so dafs man die aufgeweichten Häutchen nicht vorräthig halten kann. Das Eiweifs selbst ist auch nicht immer von gleicher Beschaffenheit, unangenehm zu handhaben, und es ist sehr fraglich, ob dessen organische Substanz irgend einen Dienst leiste. Die Eiweifshäutchen schmiegen sich nicht gehörig den Bäuschen an, so dafs sich Luftblasen darunter fangen u. d. m. Was aber mehr zu bedeuten hat als dies Alles, ihr Widerstand ist kein beständiger, vielmehr ist er, wenn sie mit Zinklösung getränkten Bäuschen aufliegen, in raschem Wachsen begriffen, wie ich beim Untersuchen des Muskelstromes mit unpolarisirbaren Elektroden an der Spiegelbussole bald erfuhr.

([1]) Monatsberichte. 1860. S. 857.

Es zeigte sich nämlich, dafs trotz der Beseitigung der Polarisation der Elektroden der Strom stets rasch sank. Mit Hülfe des unten zu beschreibenden „Compensators" (§. XI) stellte ich fest, dafs dabei die elektromotorische Kraft in viel geringerem Mafse abnahm, als die Stromstärke. Es hatte also jedenfalls auch der Widerstand des Kreises zugenommen, und dafs die Zunahme die Eiweifshäutchen betraf, ging daraus hervor, dafs bei deren Erneuerung der Strom ansehnlich in die Höhe ging (1). Diese Widerstandszunahme der Eiweifshäutchen rührt nicht von secundärem Widerstand her, von dem bekannt ist, dafs er zu seiner Entstehung gröfserer Stromstärken bedarf; auch tritt sie, obschon in geringerem Mafse, ein, wenn man die Häutchen durch mehrere mit Kochsalzlösung getränkte Fliefspapierlagen von der Zinklösung trennt (2). Ebensowenig stammt sie von Austrocknung an der Luft her, da sie im feuchten Raume nicht ausbleibt, und überdies gerade die von dem Muskel berührten Stellen der Häutchen vor der Trocknifs aus diesem Grunde geschützt sind. Sondern ihre Ursache ist zu suchen in der Wasserentziehung durch die Zinklösung, die sich auch darin ausspricht, dafs die Häutchen hornartig trocken und durchscheinend werden und sich stark einrollen.

Da, wie gesagt, auch die Dazwischenkunft von Kochsalzlösung diesen Übelstand nicht ganz beseitigt, so bin ich neuerdings dazu gelangt, die Eiweifshäutchen ganz zu verwerfen. Den Ersatz, den ich dafür gefunden habe, betrachte ich als eine der glücklichsten Bereicherungen der elektrophysiologischen Technik. Hr. Dr. Rosenthal hatte mich schon darauf aufmerksam gemacht, dafs an Stelle des Eiweifses der Eiweifshäutchen sich vermuthlich eine Kochsalz- oder phosphorsaure Natron-Lösung von solcher Concentration mit Vortheil würde anwenden lassen, dafs die Nerven oder Muskeln nicht davon leiden (3). Seine Absicht war, damit, statt der

---

(1) Der Theil der Stromabnahme, der sich nicht auf diese Weise erklärt, sondern auf einer Verminderung der elektromotorischen Kraft beruht, rührt von innerer Polarisation des Muskelgewebes her, wie ich anderwärts darthun werde.

(2) Vergl. meine Abhandlung „Über den secundären Widerstand, ein durch den Strom bewirktes Widerstandsphänomen an feuchten porösen Leitern" in den Monatsberichten u. s. w. 1860. S. 877. 898-900.

(3) Kölliker, Verhandlungen der Würzburger physikalisch-medizinischen Gesellschaft. Bd. VII. 1856. S. 145.

Blase, sogenanntes vegetabilisches Pergament (¹) zu tränken. Ich kam auf den Gedanken, den mir bereits von meinen Studien über secundär-elektromotorische Erscheinungen und den secundären Widerstand der feuchten porösen Leiter wohl vertrauten Modellirthon damit anzukneten, der eine sehr geringe innere Polarisation besitzt, keinen secundären Widerstand annimmt, jeder Form sich schmiegt, stets in gleicher Beschaffenheit erhalten, vor Trocknifs geschützt so lange man will brauchbar aufbewahrt werden kann, endlich für die Salzlösungen sich in den Fristen, die hier in Betracht kommen, so gut wie undurchdringlich verhält. In der Abhandlung über den secundären Widerstand gab ich an, man solle, um letzteren zu vermeiden, die thierischen Theile und Eiweifshäutchen von den mit Zinklösung getränkten Bäuschen stets noch durch Kochsalzbäusche trennen, zwischen diesen und den Zinkbäuschen aber, um die Diffusion der Salzlösungen zu verzögern, ein mehrere Millimeter dickes Blatt Modellirthon anbringen. Die Vorschrift, die ich jetzt gebe, ist viel einfacher; sie besteht darin, die Eiweifshäutchen und Kochsalzbäusche fortzulassen, und die thierischen Theile unmittelbar mit dem Thon in Berührung zu bringen, diesen aber, um seine Leitungsfähigkeit zu erhöhen, statt mit Wasser, mit einer 0,75—2%igen Kochsalzlösung zu tränken. Man knetet aus dem Thon eine Platte von der angegebenen Dicke, legt sie auf eine Glastafel, und schneidet daraus mittels einer langen und geraden Klinge (abermals eines Tischmessers) Stücke von etwa 20^{mm} Länge und 15^{mm} Breite, die man wie früher die Eiweifshäutchen verwendet, um die Bäusche an den Stellen, wo man Muskeln oder Nerven aufzulegen beabsichtigt, damit zu bekleiden. (S. Fig. 1). Diese Anordnung läfst in der That wenig zu wünschen übrig. Der Widerstand ist gering und beständig; man kann den Thon leicht in viel bequemere Formen drücken, als die Eiweifshäutchen sie darboten, welche die an sich nicht scharfen Formen oft gebrauchter Bäusche nur noch mehr abstumpften; der Thon läfst sich vorräthig halten, so dafs man nicht mehr nöthig hat, ehe man einen Versuch anstellen kann, auf das Aufweichen der Blase im Eiweifs zu warten; endlich die thierischen Theile werden weniger angegriffen, da, wie ich mich überzeugt habe, eine so verdünnte Kochsalz-

(¹) A. W. Hoffmann, Report on Vegetable Parchment, adressed to Messrs. Thomas de la Rue and Co. London 1858.

lösung auf die parelektronomische Schicht am natürlichen Querschnitt von Gastroknemien nicht merklich entwickelnd wirkt, was das Hühnereiweifs thut ([1]), welches auch häufig eine Zuckung auslöst, wenn ein Muskel mit frischem künstlichem Querschnitt damit in Berührung gebracht wird.

§. VI. Von den Zuleitungsröhren mit Thonspitzen ([2]).

Um das elektromotorische Verhalten sehr beschränkter Stellen eines thierischen Theiles, z. B. der verschiedenen Punkte des Querschnittes eines Muskels, zu erforschen, reichen die gewöhnlichen Zuleitungsbäusche nicht aus, und ich habe früher, wo dieser Fall eintrat, dieselben mit spitzen Fortsätzen aus mehreren Lagen Fliefspapier versehen, wie es in Fig. 37. Taf. IV. des ersten Bandes meines Werkes dargestellt ist, was aber mehrere Unbequemlichkeiten hatte.

Hr. Czermak hat kürzlich eine Vorrichtung empfohlen, welche den nämlichen Zweck zu erfüllen bestimmt ist. „Meine Zuleitungsgefäfse," sagt er, „werden durch zwei Glasspritzen dargestellt, wie man sie zu medicini„schen Zwecken gebraucht, nur wird der Stempel durch eine Glasröhre „ersetzt, welche vorn mit einem Fliefspapierpfropf oder einem Goldschläger„häutchen, hinten mit einem Kork verschlossen ist. Im Innern der Röhre „befindet sich concentrirte Zinkvitriollösung, durch den Kork geht ein amal„gamirter Zinkdraht, der sich zu einer langen Spirale aufrollt, und aufsen „ist die Röhre mit Baumwollenfäden umwickelt, so dafs sie als Stempel „wirken kann. Die Spitze der Spritze wird durch Zurückziehen des Röh„renstempels mit frischem Hühnereiweifs gefüllt, jede Luftblase sorgfältig „entfernt, und auf diese Weise eine ableitende Vorrichtung hergestellt, „welche gleichartig und unpolarisirbar ist, und mit freier Hand, oder in ein „nach allen Richtungen bewegliches Stativ eingespannt, ganz genau bestimm„ten Punkten angelegt werden kann." ([3])

Hrn. Czermak's Spritzen sind, wie man sieht, eine geschickte Abänderung der Pflüger'schen Eiweifsröhren, wodurch diese, abgesehen

---

([1]) Vergl. meine „Untersuchungen" u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 49 ff.; — Monatsberichte u. s. w. 1851. S. 387.

([2]) Nachträglich eingerückter Paragraph.

([3]) Allgemeine Medicinische Central-Zeitung vom 5. Juni 1861. XXX. Jahrgang. 45. Stück. S. 353.

vom Ersatz des Kupfers in Kupferlösung durch verquicktes Zink in Zinklösung, beweglicher und besser leitend gemacht werden. Ich glaube, dafs es mir seitdem gelungen ist, das Nämliche, in mancher Rücksicht noch vollkommener und einfacher, zu erreichen.

Meine Zuleitungsröhren, deren man eine, mit der Art ihrer Aufstellung, in Fig. 2 Taf. III. im $\frac{2}{3}$-Mafsstabe abgebildet sieht, wie sie Hr. Sauerwald liefert, sind aus plattgedrückten Glasröhren geschnitten, deren Querschnitt Fig. 2 *a* in natürlicher Gröfse zeigt. Das untere Ende der Röhre wird mit dem oben erwähnten Thon wasserdicht verschmiert, und es wird daran eine Spitze geknetet, die zum Berühren der thierischen Theile bestimmt ist. Dieser Spitze kann man in jedem Augenblick jede gewünschte Gestalt, Richtung und Feinheit ertheilen. In die mit Zinklösung gefüllte Röhre taucht ein verquickter Streifen Zinkblech. Der einen schmalen Seite der Röhre ist ihrem oberen Ende nahe auf der Hütte ein Stiel angeschmelzt, dessen Axe, nach einer kurzen Biegung, der Axe der Röhre parallel läuft. Der Stiel ist in eine Hülse gekittet, die bei * in ein Messingstück geschraubt ist, welches sich in die eine Kugel eines Kugelscharniers fortsetzt. Dadurch wird es möglich, der Röhre jede erforderliche Lage im Raum zu ertheilen. Von dem Messingstück erstreckt sich ein Fortsatz *ff*, wenn die Röhre darin festgeschraubt ist, über diese fort, in einer Ebene mit der Längsaxe ihres Querschnittes. Das obere Ende des Zinkstreifens ist hakenförmig gebogen, und wird über jenen Fortsatz gehängt und daran mittels der Schraube *s* festgeklemmt. An das Messingstück ist aufserdem noch ein besponnener Kupferdraht geschraubt, der zur Fortführung des Stromes bestimmt, in gewohnter Art zunächst um einen Elfenbeinknopf an der das Kugelscharnier tragenden Hülse gewickelt wird, damit eine Zerrung am Drahte nicht unmittelbar die Röhre treffe. Die Hülse ist an einer Messingsäule beweglich, die sich auf dem einen Brennpunkt eines elliptischen Bleifufses erhebt. Die Säule hat nur gerade die nöthige Höhe, so dafs eine feuchte Kammer, in der man ein oder zwei Paare solcher Vorrichtungen aufstellt, deshalb noch nicht so grofs wird, dafs sich ihr Raum nicht leicht mit Wasserdampf sättigte.

Nichts Leichteres giebt es mit einem Paar dieser Röhren als, was sonst unmöglich schien, am Frosch das elektromotorische Verhalten der verschiedenen Punkte des künstlichen Querschnittes eines einzelnen Oberschen-

kelmuskels, oder, wie es die Figur zeigt, der Achillessehnen-Ausbreitung zu prüfen. Es versteht sich, dafs man sich der Röhren ebensowohl zum Zuleiten fremder Ströme, als zum Ableiten der thierisch-elektrischen Ströme bedienen kann, und es hält nicht schwer, die Thonspitzen von vier Röhren einem Nerven auf einer Strecke von kaum ebensovielen Millimetern anzulegen.

Die plattgedrückte Gestalt des Querschnittes der Röhren ist zwar nicht wesentlich, gewährt aber mehrere Vortheile. Erstens ist es leichter, solche Röhren wasserdicht mit Thon zu schliefsen, als runde Röhren von gleichem Querschnitt. Zweitens braucht man den Streifen Zinkblech nicht, wie es bei gleicher Breite desselben und bei runder Röhre erforderlich wäre, zu einer Rinne zu biegen. Drittens und hauptsächlich nehmen mehrere, in einer Reihe aufgestellte, die platten Seiten einander zukehrende Röhren weniger Platz ein, als wenn sie rund wären, und man hat weniger Schwierigkeit, die Thonspitzen zwei einander sehr nahen Punkten anzulegen.

Die Gleichartigkeit und Unpolarisirbarkeit der Röhren ist gefährdet, wenn das verquickte Zink den nicht mit Zinklösung getränkten Thon berührt. Bei der beschriebenen Form der Vorrichtung ist dem dadurch vorgebeugt, dafs die Zinkplatte durch die Klemme in gegebener Höhe festgehalten wird. Man kann dasselbe aber auch erreichen, indem man vor dem Verquicken das Zinkblech so biegt, dafs es sich in der Röhre mit Reibung verschiebt. Auf alle Fälle bleibt es gerathen von unten her in die Röhre, ehe man sie mit Thon verschmiert, einen mit Zinklösung getränkten Fliefspapierpfropf zu schieben, welcher nicht nur das Zink vom Thone trennt, sondern auch die Diffusion der Zinklösung mit der verdünnten Kochsalzlösung im Thone verzögert.

Ganz beständig ist natürlich der Widerstand der Röhren nicht, weil der Thon theils an der Luft austrocknet, theils durch die Zinklösung ausgesogen wird. Der erstere Umstand kommt indefs weniger in Betracht, weil man feinere Versuche in diesem Gebiete doch nicht mehr anders als in der feuchten Kammer anstellen wird, und der letztere Vorgang wird durch den mit Zinklösung getränkten Fliefspapierpfropf sehr verzögert. Ja man kann die zum Gebrauch fertigen Röhren mehrere Tage lang in tauglichem Zustand in der feuchten Kammer bewahren, wenn man die Thonspitzen lose mit feuchtem Fliefspapier umhüllt. Auch der Widerstand der Czermak'-

schen Spritzen kann übrigens kein ganz beständiger sein, da die Zinklösung mit dem Wasser des Eiweifses diffundirt, und sie sind nicht frei vom Verdacht auf secundären Widerstand.

Um Anderen vergebliche Mühe zu sparen, sei noch bemerkt, dafs ich versucht habe, aufsen und an ihrem unteren Ende auch innen gefirnifste verquickte Zinkröhren, statt der, Zinkbleche enthaltenden Glasröhren, anzuwenden. Dies scheint nicht zu gehen wegen der Unsicherheit, dafs nicht die verdünnte Kochsalzlösung des Thones durch Sprünge im Lack dennoch zur Berührung mit dem verquickten Zink gelange, wo es dann mit der Gleichartigkeit und Unpolarisirbarkeit zu Ende ist.

§. VII. Vom feuchten Arbeitsraume.

Wie bei den Reizversuchen ist es auch bei den thierisch-elektrischen Versuchen gerathen, soviel wie möglich in einem mit Wasserdampf gesättigten Raume zu arbeiten. Für die Versuche, wobei Nerven in's Spiel kommen, versteht sich dies von selbst; aber auch für die Versuche an Muskeln ist es oft des Thones halber wünschenswerth, einen feuchten Arbeitsraum zu besitzen.

Mir dient als solcher eine aus Glas und Holz gefugte Kammer von 350^{mm} Länge, 250^{mm} Breite und 230^{mm} Höhe. So ist sie grofs genug, um die Zuleitungsgefäfse, und was von Hülfsvorrichtungen gewöhnlich gebraucht wird, aufzunehmen, und nicht zu grofs, um sich nicht noch leicht mit Wasserdampf zu sättigen, wenn man von ihren Wänden die, an deren Durchsichtigkeit gerade nichts liegt, mit feuchtem Fliefspapier belegt, und aufserdem darin ein paar poröse Thontröge als Alkarazzas aufstellt.

Das Grundbrett, auf dem die Kammer steht, ist sorgfältig geebnet, und ruht mit seinen kurzen Seiten auf 25^{mm} hohen Leisten, sodafs darunter Drähte, die durch das Brett in die Kammer treten, isolirt verlaufen.

Die Kammer ist auf dem Grundbrett befestigt, aber die dem Arbeitenden zugekehrte Wand läfst sich ganz oder theilweise entfernen, wodurch das Innere zugänglich wird. Diese Wand besteht nämlich aus zwei Spiegelscheiben, welche in der Mitte senkrecht aneinanderstofsen, und sich seitlich verschieben. Da die Länge der einen Scheibe drei Viertel von der der Kammer beträgt, so kann man leicht bewirken, dafs sie irgendwo zwischen sich einen Schlitz lassen, breit genug um die Hand einzuführen, ohne dafs die

feuchte innere Luft zu einem erheblichen Theile durch trockene äufsere ersetzt wird.

Die feuchte Kammer mit abzuhebendem Gehäuse, das in einer mit Wasser gefüllten Rinne steht, wie ich sie zum Aufbewahren der Zuleitungsgefäfse empfahl (1), kann man auch als Arbeitsraum benutzen. Sie hat jedoch den Nachtheil, dafs sich über die Rinne fort den innerhalb befindlichen Gegenständen schlecht beikommen läfst, und dafs der Rand des Gehäuses beim Abheben trieft. Die geringe Wasseroberfläche der Rinne macht zudem das feuchte Fliefspapier und die Alkarazzas kaum überflüssig. Das Abheben des Gehäuses geschieht beiläufig am besten, indem man es auf eine seiner langen Seitenflächen umlegt. Man macht es dazu mit Scharnieren am Grundbrett beweglich, deren Axe man möglichst weit abrückt. Die Zarge des Gehäuses mufs eisenfrei sein, um unbedenklich in der Nähe des Multiplicators oder der Spiegelbussole gehandhabt zu werden.

§. VIII. Von den Vorrichtungen zum elektrischen Tetanisiren (2).

Der Schlitten-Magnetelektromotor ist, seit ich ihn im Jahre 1849 beschrieb (3), so vielfach von Physiologen und Ärzten angewendet worden, dafs ihm von allen elektrophysiologischen Vorrichtungen wohl die gröfste Verbreitung zukommt.

---

(1) Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 219.

(2) Nachträglich eingerückter Paragraph.

(3) Ich habe seitdem gefunden, dafs schon 1839 Hr. Jos. Henry (damals in Princeton, New-Jersey, später in Washington) vorschlug, durch Entfernung der beiden Rollen von einander die Stärke der Inductionsschläge zu ärztlichen Zwecken abzustufen (Transactions of the American Philosophical Society, held at Philadelphia, etc. New Series. 4. 1839. vol. VI. p. 315. §. 52; — The... Philosophical Magazine etc. New and united Series. vol. XVI. p. 256; — Poggendorff's Annalen u. s. w. Ergänzungsband (I). 1842. S. 291). Um so sonderbarer ist es, dafs man in Frankreich noch immer, statt dieses einfachsten und zweckmäfsigsten Mittels, sich zum Abstufen der Ströme eines Kupferrohres bedient, das man zwischen die Haupt- und die sie umgebende Nebenrolle schiebt, wobei einmal der Strom nicht Null, zweitens der zeitliche Verlauf auch des Endstromes so verändert wird, dafs die Ordinaten nicht dasselbe Verhältnifs zu einander behalten, was beim Entfernen der beiden Rollen von einander nur für den Anfangsstrom der Fall ist, dessen physiologische Wirkung neben der des Endstromes verschwindet. S. den in der folgenden Anmerkung angeführten Aufsatz, S. 387. — Vergl. auch Fortschritte der Physik im Jahre 1850 und 1851 u. s. w. VI. und VII. Jahrgang. Berlin 1855. S. 736.

Eine wichtige Veränderung des Magnetelektromotors ist neuerdings von Hrn. Helmholtz angegeben worden. Da ich dieselbe in den Monatsberichten der Akademie ausführlich besprochen habe, so verweise ich auf jene Stelle. (1). Dort findet sich auch das Nöthige gesagt für den Fall, dafs man congruenter Wechselströme bedarf. Hier bleibt mir danach nur wenig zu erwähnen übrig.

Bei fortgesetzter Erfahrung hat es sich gezeigt, dafs die Länge des Geleises, wie ich sie ursprünglich für physiologische Zwecke angab, wobei die Mittelpunkte der Axen beider Rollen höchstens 35^{cm} von einander entfernt wurden, nicht ausreicht, indem der Öffnungsschlag oft noch weit über diesen Abstand hinaus Zuckung erregt. Die HH. Siemens und Halske liefern die Magnetelektromotore für physiologische Zwecke daher jetzt mit einem Geleise, welches jenen Mittelpunkten etwa 90^{cm} Abstand zu geben gestattet. Da dies Geleise für gewöhnlich unbequem wäre, so besteht es aus zwei durch ein Scharnier verbundenen Hälften, von denen die von der Hauptrolle entferntere, wenn sie nicht gebraucht wird, unter die vordere geklappt wird. Eine auf Papier gedruckte Millimetertheilung ist der einen Schiene des Geleises entlang geklebt, und ein darüber gleitender Zeiger am Schlitten erlaubt mit ausreichender Schärfe dessen Stellung abzulesen.

Zu den Vorrichtungen, die im elektrophysiologischen Laboratorium unentbehrlich sind, gehört der Halske'sche Unterbrecher (2). Er dient als elektromagnetische Maschine um den Nerven mechanisch zu tetanisiren (3). Er läfst sich in jedem Augenblick mit jedem beliebigen Paar Rollen verknüpfen, und stellt alsdann einen Magnetelektromotor dar. Als solcher erlaubt er eine viel langsamere Folge der Inductionsströme, als der mit dem gewöhnlichen Magnetelektromotor verbundene Unterbrecher, was manchmal von Wichtigkeit ist. So gewährt er z. B. die Möglichkeit, das Verschmelzen einzelner Zuckungen zu einem stetigen Tetanus zu veranschaulichen, indem man ihn bei ganz freier Hülfsfeder und schwach gespannter Hauptfeder zuerst mit möglichst gehobenem Contactstift gehen läfst, wobei die Zahl der Unterbrechungen nur etwa fünf in der Secunde beträgt, und dann den Contactstift allmählig senkt. Um die Zahl der Unterbrechun-

(1) Sitzung vom 26. Juni 1862. „Über den zeitlichen Verlauf der Inductionsströme".
(2) Poggendorff's Annalen u. s. w. 1856. Bd. XCVII. S. 641.
(3) Heidenhain, Physiologische Studien. Berlin 1856. S. 129.

gen einer gröfseren Zuhörerschaft zu vergegenwärtigen, bringe ich an Stelle des Elfenbeinhammers, der zum mechanischen Tetanisiren dient, einen metallischen Hammer an, und lasse diesen eine Glocke treffen. Die Art, die Zuckung selber weithin sichtbar zu machen, wird später beschrieben werden (S. unten §. XV).

Eine besonders schöne und lehrreiche Weise, den Muskel mittelbar durch Wechselströme zu tetanisiren, ist die von Hrn. R. Grofsmann ersonnene (1), die man den akustischen Tetanus nennen kann. Man spannt einen stark magnetisirten Stahlstab, von etwa 250^{mm} Länge, 10^{mm} Breite und 3^{mm} Dicke, in der Mitte seiner Länge in ein Gestell ein, wie es zu Versuchen mit Klangscheiben üblich ist. Unter dem einen Pol des Magnetes stellt man die aus dem Geleise genommene Nebenrolle des Magnetelektromotors so auf, dafs ihre Axe die flache Seite des Magnetes in der Gegend des Pols senkrecht trifft; die Rolle mufs so nahe gebracht werden wie möglich, ohne die Schwingungen des Magnetes zu stören. Die Enden der Rolle führen in gewohnter Art zum Nervmuskelpräparat. Wird nun die freie Hälfte des Magnetstabes mittels des Violinbogens in tönende Schwingung versetzt, so geräth der Muskel in Tetanus, bei einem Stabe von den angegebenen Mafsen jedoch nur, wenn der Stab, abgesehen von seiner eingespannten Mitte, ohne Knoten schwingt. Bilden sich Knoten, was die schrillende Erhöhung des Tones verräth, so bleibt der Muskel in Ruhe. Hr. Grofsmann hat bereits die Gründe entwickelt, aus denen sich ergiebt, dafs alsdann die inducirten Ströme schwächer sind. Doch wäre es nicht überflüssig, darüber das Elektrodynamometer zu vernehmen. Auch ist jetzt hier noch an einen Umstand zu denken, nämlich daran, ob bei dem Schwingen mit Knoten die Ströme sich nicht zu schnell folgen um zu tetanisiren (2).

---

(1) Amtlicher Bericht über die 32. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Wien im September 1856. Wien 1858. 4. S. 221.

(2) Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. I. 1848. S. 418 ff.; — Harlefs, in den Gelehrten Anzeigen der K. bayerischen Akademie der Wissenschaften. 10. Juli 1857. Nr. 5. S. 47; — Heidenhain, Studien des physiologischen Instituts zu Breslau. Heft 1. Leipzig 1861. S. 64-66.

§. IX. Von dem Schlüssel.

Seit der Erfindung der Schraubenklemmen statt der Quecksilberverbindungen zur Verknüpfung von Leitungsdrähten (1) pflegte man wenigstens da, wo der Kreis öfter geöffnet und wieder geschlossen werden sollte, noch immer ein Näpfchen mit Quecksilber anzubringen, das eine Ende des Kreises darin zu befestigen, und durch abwechselndes Herausziehen und Eintauchen des anderen jenen Zweck zu erreichen. Viel bequemer ist dazu die beistehend abgebildete Vorrichtung (2), deren Form ich mit Hrn. Halske festgestellt habe, und die ich im Vergleich mit dem bekannten Organ des Morse'schen Telegraphen den Schlüssel nenne, obgleich für beide der Name Schlofs passender wäre, da man in den bedenklichen Fall kommt, vom Schliefsen oder Öffnen des Schlüssels zu sprechen. Sie besteht aus zwei Doppelklemmen *b* und *c*, welche auf einer Platte aus Kammmasse *a* isolirt sind, und zwischen denen der federnde Vorreiber *d* mit Elfenbeingriff spielt. Mittels einer Tischlerzwinge läfst sie sich überall und in jeder Lage anbringen. Hat *b* das eine, *c* das andere Ende eines Kreises aufgenommen, so schliefst und öffnet der Schlüssel den Kreis. Die Doppelklemmen erlauben aber auch ihn so anzuwenden, dafs *b* und *c* an zwei Stellen des Kreises eingeschaltet sind, zwischen denen der Vorreiber eine gut leitende Nebenschliefsung herstellt und abbricht.

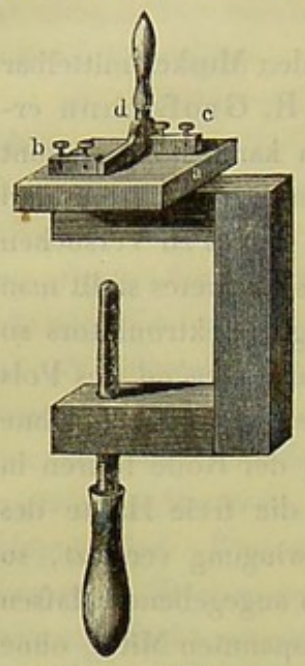


Fig. 3. — 0.25.

Der Schlüssel gewährt den Vortheil, erstens, dafs er stets bereit ist, keiner Reinigung und Erneuerung bedarf, wie die Quecksilber-Vorrichtung, und zweitens, dafs man damit vollkommen sicher und auf annähernd gleiche Weise öffnen und schliefsen kann, ohne hinzusehen. Beim Gebrauche des Schlüssels ist indefs wohl zu beachten, dafs sein Widerstand

(1) Poggendorff in seinen Annalen u. s. w. 1840. Bd. XLIX. S. 39.

(2) Der Holzschnitt ist aus Hrn. Wiedemann's „Lehre vom Galvanismus" (Braunschweig 1861) entlehnt, indem ein Abklatsch davon mir durch die Güte des Verlegers dieses Werkes zur Benutzung überlassen wurde.

nicht ganz beständig ist. Ist der Schlüssel in einen Kreis von geringem Widerstande eingeschaltet, und man drückt den Vorreiber entweder stärker gegen die Klemme *b*, oder davon fort, so dafs seine Berührung beziehlich eine mehr oder minder innige wird, so schwankt der Widerstand des Kreises ab und auf um eine kleine Gröfse. Wo dies von Belang ist, thut man besser daran, beim Quecksilber zu bleiben, es sei denn, dafs man ohne Schaden den Widerstand des Kreises so vergröfsern kann, dafs der veränderliche Theil des Widerstandes des Schlüssels dagegen verschwindet. Bei galvanischen Reizversuchen darf man sich deshalb, wo gröfsere Sorgfalt erheischt wird, in der Hauptleitung des Rheochords (s. unten §. XII) und im primären Kreise von Inductionsvorrichtungen des Schlüssels nicht ohne Weiteres bedienen, um die Kette zum Zweck der Reizung zu schliefsen und zu öffnen. Die Schwankung der Stromdichte, die dadurch entsteht, dafs der Vorreiber beim Schliefsen nach der ersten Berührung noch in gröfserer Ausdehnung oder stärker, beim Öffnen vor dem letzten Abreifsen zuerst in kleinerer Ausdehnung oder schwächer angedrückt wird, verschwindet nicht gegen die beim Schliefsen durch die erste Berührung, beim Öffnen durch das letzte Abreifsen bewirkte Schwankung, und die Stärke der Reizung wird so von der Geschwindigkeit beeinflufst, womit man den Vorreiber bewegt ([1]).

([1]) Die ersten Galvanisten pflegten bekanntlich das Stück Wirbelsäule des ächten Galvani'schen Präparates (Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 467) mit Stanniol zu armiren, wie sie es nannten, und dann zwischen den Muskeln oder Nerven einerseits und der Armatur andererseits mit einem Bogen aus einem anderen Metalle zu schliefsen. Dabei zeigte es sich, dafs die Zuckungen stärker und sicherer auftraten, wenn man den Bogen erst an die Muskeln oder Nerven, dann an die Armatur anlegte, als wenn man umgekehrt verfuhr. (Vergl. Moscati und Galvani in Al. Galvani de Viribus Electricitatis in Motu musculari Commentarius etc. Mutinae 1792. 4. p. 26; — Al. Galvani, Abhandlnng über die Kräfte der thierischen Elektricität u. s. w. Eine Übersetzung u. s. w. von Johann Mayer. Prag 1793. S. IX; — Valli in Gren's Journal der Physik. 1792. Bd. VI. S. 393; — Derselbe in Rozier, Journal de Physique. 1792. t. XLI. p. 72. 73; — Derselbe in Reinhold's Geschichte des Galvanismus u. s. w. Leipzig 1803. S. 31; — Gren in seinem Journal der Physik. 1792. Bd. VI. S. 405; — R. Fowler, Experiments and Observations relative to the Influence lately discovered by M. Galvani etc. Edinburgh 1793. p. 36; — Alex. Monro's und R. Fowler's Abhandlung über thierische Elektricität u. s. w. Leipzig 1796. S. 75. 76; — Pfaff, Commentatio de Electricitate sic dicta animali. Stuttgardiae 1793. p. 13. 14. 41. 67; — Derselbe in Gren's Journal der Physik. 1794. Bd. VIII. S. 202-204. 230. 254. 272. 276; — Derselbe, Über thierische Elektricität und Reizbarkeit. Leipzig 1795. S. 10. 22; — v. Humboldt, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. Posen und

Der Schlüssel wird auch sehr nützlich, indem man ihn an das Galvanometerconsol befestigt, und seine beiden Klemmen statt der sonst üblichen, mit Holzschrauben in das Consol eingebohrten Klemmen benutzt; der Vorreiber dient alsdann zum Dämpfen. Ebenso kann man den Schlüssel anwenden, wo von einer Vorrichtung zur anderen Drähte durch das Zimmer zu führen sind, um zu verhüten, dafs durch Zerren an den Drähten die Vorrichtungen erschüttert oder herabgerissen werden (¹).

Berlin 1797. Bd. I. S. 101. [Subjectiv, an Blasenpflasterwunden]; — Reinhold, De Galvanismo Specimen II. etc. Lipsiae 1798. 4. p. 38; — Bericht der Commission des National-Instituts von Frankreich u. s. w. in Ritter's Beiträgen u. s. w. Bd. I. St. I. 1800. S. 55. 102. 103; — P. Erman in den Abhandlungen der Königl. Akademie der Wissenschaften in Berlin. Aus den Jahren 1812-1813. S. 158. 163. 164. Fig. 2. 3; — Bellingeri, Memorie della Reale Accademia della Scienze di Torino. t. XXIII. 1818. p. 160. 161; — Fechner, Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie u. s. w. Leipzig 1829. S. 497; — Cima in Zantedeschi's Raccolta fisico-chimica italiana ec. 1848. vol. III. p. 449. §. 57. [1844].) Als Hr. Pflüger im Jahre 1857 anfing sich mit Elektrophysiologie zu beschäftigen, forderte ich ihn auf, die Erklärung jenes räthselhaften Umstandes zu versuchen. Hr. Pflüger gelangte bald zu einer sehr scharfsinnigen Lösung der Aufgabe, wodurch dieselbe zu dem im Texte Gesagten in nahe Beziehung tritt. Nach ihm würde nämlich der Unterschied in der Stärke der Zuckungen wesentlich darauf beruhen, dafs das einemal die Kette rein metallisch, das anderemal durch Berührung eines Metalls mit einem feuchten, d. h. mit einem aufserordentlich viel schlechteren Leiter geschlossen wird. In dem letzteren Falle nimmt der Widerstand des Kreises von dem Augenblick der ersten Berührung bis zum vollendeten Schlusse noch merklich ab, in dem ersteren Falle erlangt der Strom sofort die ganze Stärke, deren er nach den sonstigen Umständen des Versuches fähig ist. Diese Stärke wird also hier in einem raschen Sprunge erreicht, dort in vergleichsweise langsamer Steigung; und nach dem allgemeinen Gesetze der Nervenerregung durch den Strom wird so der Reiz zur Zuckung bei rein metallischem Kettenschlufs stärker als bei gemischtem ausfallen. — Mit der so erledigten Frage ist die nicht zu verwechseln, was an der in der älteren Literatur der Reizversuche öfter wiederkehrenden Behauptung sei, dafs bei sich gleichbleibender Art der Schliefsung deren Ort einen Einflufs auf die Zuckung übe. (Vergl. v. Humboldt, a. a. O. S. 36; — Ritter in Gilbert's Annalen der Physik. 1801. Bd. VII. S. 452. 456. 457; — Bellingeri, Ivi p. 188; — Person in Becquerel's Traité de l'Électricité et du Magnétisme etc. t. IV. Paris 1836. p. 240; — Moser in Dove und Moser, Repertorium der Physik. Bd. I. S. 190.) Hier bleibt etwas aufzuklären übrig.

(¹) Um den Verkehr nicht zu hemmen, werden die Drähte dabei von den Vorrichtungen zuerst steil empor und dann erst wagerecht Schnüren entlang geführt, die in Reichhöhe in den nöthigen Richtungen dauernd ausgespannt sind. Man hängt die Drähte daran mittels Haken aus Glas oder Guttapercha auf.

Ein Fehler, der beim Zusammenstellen elektrophysiologischer Vorrichtungen oft begangen wird, und der grofse Unbequemlichkeiten verursacht, ist der Gebrauch zu dicker Leitungs-

§. X. Vom Gebrauch des Schlüssels beim Tetanisiren durch Inductionsströme.

Besondere Erwähnung verdient der Gebrauch des Schlüssels beim Tetanisiren durch Inductionsströme. Es handelt sich darum, die Ströme des Magnetelektromotors oder der Saxton'schen Maschine in einem gegebenen Augenblick auf Nerv oder Muskel möglichst bequem und ohne die Gefahr einwirken zu lassen, dafs unipolare Zuckungen den wirklich beabsichtigten voraufgehen. Zu verwerfen ist im Allgemeinen das Verfahren, die beiden Enden des inducirten Kreises, während die Feder des Magnetelektromotors spielt oder das Rad der Maschine gedreht wird, den thierischen Theilen anzulegen. Nicht allein, weil dabei unipolare Zuckung stattfinden kann, sobald das Anlegen beider Enden nicht vollkommen gleichzeitig oder innerhalb eines stromlosen Zeitabschnittes geschieht, sondern auch, weil man die Enden nicht sofort in die Lage an den thierischen Theilen zu bringen vermag, in der man die Wirkung der Ströme zu beobachten wünscht, und weil man die Freiheit der Hände für andere gleichzeitige Verrichtungen, und die der Aufmerksamkeit für den Erfolg des Tetanisirens selbst, einbüfst. Man wird also, wie ich dies von Anfang an empfohlen habe, die thierischen Theile zuerst sicher auf den Elektroden einrichten, und dann die Ströme in sie einbrechen lassen. Dies darf aber nicht etwa so geschehen, dafs man, während die Feder spielt oder das Rad gedreht wird, den inducirten Kreis schliefst. Dabei würden unipolare Wirkungen nur durch sehr vollkommene Isolation der thierischen Theile u.s.w. zu vermeiden sein. Besser schon ist es, bei geschlossenem inducirtem Kreise das Rad der Saxton'schen Maschine, oder am Magnetelektromotor die Feder in Gang zu setzen, letztere entweder durch Anstofsen derselben, oder durch Senken des Stiftes, oder endlich durch Schliefsen des primären Kreises an einer anderen Stelle. Allein das Rad hat

drähte. Abgesehen von dauernden Leitungen, wozu mit Kautschuk u. d. m. isolirte Telegraphendrähte am besten sind, werden in meinem Laboratorium drei Drahtdicken geführt: Draht von 0.6^{mm} Durchmesser für primäre Inductionskreise; von 0.4^{mm} für die Fälle, wo thierische Theile im Kreise sind; und solcher von nur etwa 0.15^{mm} für sehr bewegliche Verbindungen. Die beiden ersten Sorten sind mit Baumwolle von verschiedener Farbe besponnen, und diese mit Wachs getränkt; die dritte ist der zu thierisch-elektrischen Multiplicatoren übliche mit Seide besponnene Draht. Von gröfster Wichtigkeit ist, dafs sämmtliche Schraubenklemmen auch den feinsten Draht sofort sicher fassen.

nicht sofort die passende Geschwindigkeit, und der Magnetelektromotor versagt manchmal in den ersten Augenblicken seine Dienste. Weit vorzüglicher ist es daher, während die Feder spielt oder das Rad gedreht wird, die in der inducirten Rolle entstehenden Ströme von den thierischen Theilen durch eine so gute Nebenschliefsung abzublenden, dafs kein merklicher Stromzweig dieselben trifft, und diese Nebenschliefsung im geeigneten Augenblick hinwegzuräumen, wo dann die Ströme in der Stärke, welche durch die übrigen Umstände des Versuches bedingt ist, in die thierischen Theile einbrechen. Die erste Art, wie ich dies in's Werk setzte, bestand darin, dafs ich in jeden der beiden von der secundären Rolle kommenden Drähte ein Quecksilbernäpfchen einschaltete, und zwischen beiden Näpfchen mittels eines an beiden Enden verquickten Kupferbügels schlofs. Sollten die Ströme zugleich umgekehrt werden, so war es sehr bequem, während die Drähte der Rolle zu den Gefäfsen *a* und *b* des Stromwenders führten, zwischen den Gefäfsen *a* und *β*, oder *A* und *B* desselben (1) den nebenschliefsenden Bügel anzubringen. Der Bügel schwächt die Ströme in den thierischen Theilen dergestalt, dafs auch bei ganz aufgeschobener secundärer Rolle der empfindlichste Froschschenkel, dessen Nerv jenseits des Bügels die Enden der Rolle überbrückt, in Ruhe verharrt. In dem Augenblicke, wo man den Bügel entfernt, was man ohne hinzusehen thun kann, ist der Tetanus da.

In dieser Form hatte ich das Verfahren schon seit 1851 bei meinen Untersuchungen und Vorträgen angewendet, und ist dasselbe von Hrn. Pflüger, dem es bei seinen Versuchen über den Splanchnicus grofsen Vorschub leistete, in seiner Dissertation bekannt gemacht worden (2). Inzwischen liegt Einem häufig ebensoviel daran, in einem gegebenen Augenblick das Tetanisiren aufhören, wie daran, es beginnen zu lassen, und dazu ist jene Anordnung ungeeignet, weil man ohne hinzusehen nicht wohl den Bügel wieder über die Näpfchen brücken kann. Der Schlüssel in der oben beschriebenen

(1) Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 343.

(2) De Nervorum splanchnicorum Functione. Berolini 1855. p. 9. 10; — Über das Hemmungs-Nervensystem für die peristaltischen Bewegungen der Gedärme. Berlin 1857. S. 17; — Untersuchungen über die Physiologie des Electrotonus. Berlin 1859. S. 129. — Vergl. A. v. Bezold, Über den Einflufs der Wurali-Vergiftung auf die *Rami cardiaci* des *Nervus vagus*. Allgemeine Medicinische Central-Zeitung. Berlin, 19. Juni 1858. 27. Jahrgang. 49. Stück. S. 386. 387.

Gestalt leistet aber in diesem Falle Alles, was man braucht, wenn man jede seiner Doppelklemmen mit dem einen Ende der inducirten Rolle und mit der einen Elektrode verknüpft, und sich des Vorreibers an Stelle des Kupferbügels zwischen den Quecksilbernäpfchen bedient. Soll die Richtung der Inductionsströme umgekehrt werden, so mufs man freilich noch aufserdem vor oder hinter dem Schlüssel einen Stromwender einschalten.

§. XI. Vom Compensator, einer Vorrichtung zum Messen der elektromotorischen Kraft der Nerven und Muskeln.

Auf einem Brett, einer Latte, u. d. m., denke man sich nach Art einer Klaviersaite über zwei Stege mittels einer Oese an dem einen, eines Wirbels an dem anderen Ende einen Messingdraht NS (s. Fig. 4) von etwa 2^{m} Länge und 1.75^{mm} Dicke ausgespannt, und dessen Enden durch einen Pohl'schen Gyrotropen G mit dem Zink und Kupfer einer Daniell'schen Kette D verknüpft. Dieser Draht heifst der Nebenschliefsdraht. An dem einem Ende desselben N ist das eine Ende des Multiplicatorkreises $N\mu Mr$ angelöthet. Das andere Ende dieses Kreises, r, ist an dem Nebenschliefsdraht irgendwie beweglich gemacht, sei's mit Hülfe des einfachen, von Hrn. Kirchhoff beschriebenen Kunstgriffes (¹), wobei aber der Draht wagerecht liegen mufs, sei's indem man jenes Ende um den Draht, ähnlich wie die Bafssaiten eines Klaviers bewickelt sind, in einer dichtgewundenen Spirale von etwa 1^{cm} Länge aufwickelt, welche gleichsam eine federnde, am Drahte mit Reibung verschiebbare Hülse vorstellt. Man kann auch an Stelle des Messingdrahtes einen Eisendraht von gleicher reducirter Länge nehmen, und das Ende r so

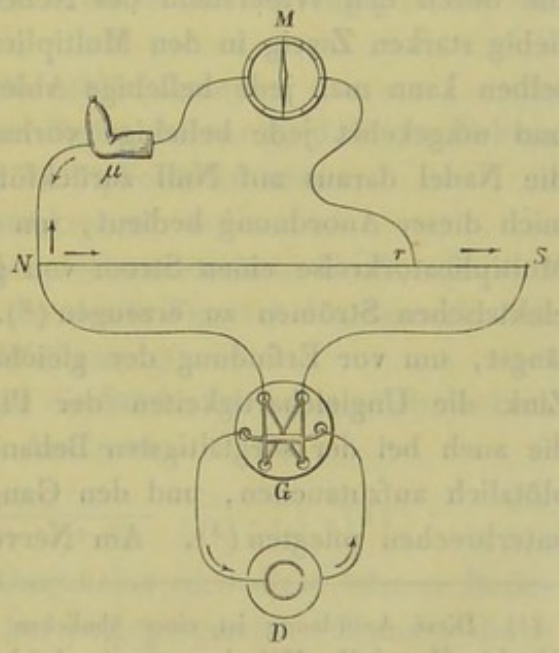


Fig. 4.

(¹) Poggendorff's Annalen u. s. w. 1857. Bd. C. S. 180. Taf. III. Fig. 5.

daran verschiebbar machen, dafs man dasselbe mit dem Quecksilber im Inneren eines an jedem Ende durch einen Kork verschlossenen Stückes Glasrohr verbindet, das der Nebenschliefsdraht, die Korke durchbohrend, durchsetzt. Mittels der Korke kann man das Quecksilber dem Draht andrücken, auch halten sie die Oberfläche des Drahtes während des Gebrauches rein ([1]). Welcher von diesen Anordnungen man auch den Vorzug gebe, man mufs dafür sorgen, dafs das bewegliche Ende r des Multiplicatorkreises seinem festen Ende N so nahe gebracht werden könne, dafs der Widerstand der zwischen denselben begriffenen Strecke des Drahtes NS gegen den des Multiplicatorkreises verschwinde. In dem Falle des zu einer federnden Hülse am Nebenschliefsdraht aufgerollten Endes r mufs deshalb die Hülse von N abgewendet sein, da sie sonst verhindern würde, r und N mit einander in Berührung zu bringen.

Dies ist die einfachste Form einer sehr nützlichen Vorrichtung, die ich den Compensator nenne, und die an keinem Galvanometer fehlen sollte. Sie dient, wie man leicht begreift, dazu, von dem Strom des Daniells einen beliebig gerichteten, und unterhalb einer gewissen Grenze, die durch den Widerstand des Nebenschliefsdrahtes bestimmt wird, beliebig starken Zweig in den Multiplicatorkreis überzuleiten. Mittels desselben kann man jede beliebige Ablenkung bewirken, deren man bedarf, und umgekehrt jede beliebige vorhandene Ablenkung vernichten, d. h. die Nadel daraus auf Null zurückführen. Schon vor Jahren habe ich mich dieser Anordnung bedient, um behufs gewisser Controlversuche im Multiplicatorkreise einen Strom von gleicher Ordnung mit den thierisch-elektrischen Strömen zu erzeugen ([2]). Auch diente mir dieselbe schon längst, um vor Erfindung der gleichartigen Elektroden aus verquicktem Zink die Ungleichartigkeiten der Platinplatten unschädlich zu machen, die auch bei der sorgfältigsten Behandlung theils zurückzubleiben, theils plötzlich aufzutauchen, und den Gang der Versuche auf das Lästigste zu unterbrechen pflegten ([3]). Am Nerven-Multiplicator kann der Compen-

---

([1]) Diese Anordnung ist einer ähnlichen von Hrn. Neumann nachgebildet, die Hr. Kirchhoff und Hr. Wiedemann beschrieben haben. Poggendorff's Annalen u. s. w. 1849. Bd. LXXVI. S. 422; — 1856. Bd. XCIX. S. 226. Anm.

([2]) Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. 1849. S. 441.

([3]) Vergl. Berichte u. s. w. 1859. S. 483. 484.

sator in dieser Art auch bei Anwendung des verquickten Zinks noch gute Dienste leisten. Er hilft ferner noch stets, wo eine Veränderung der Stromstärke am Multiplicator beobachtet werden soll, z. B. die negative Schwankung des Nerven- oder des Muskelstromes, die Nadel auf Null zu bringen, und so die gröfstmögliche Empfindlichkeit, und ein deutlicheres Bild von der Gröfse der Veränderung, zu erzielen. Bei den Versuchen über die negative Schwankung des Muskelstromes am lebenden menschlichen Körper hebt er die Ströme wegen der Hautungleichartigkeiten auf, die dabei so häufig hinderlich werden. Allein noch mehr, der Compensator ist bestimmt, die Rolle eines Mefswerkzeuges im Gebiete der thierisch-elektrischen Ströme zu übernehmen; indem er nämlich gestattet, Vergleichungen des ohne Frage wichtigsten Elementes in jenen Erscheinungen, der elektromotorischen Kraft der Nerven und Muskeln, auszuführen.

Es sei

E die elektromotorische Kraft der Daniell'schen Kette, an deren Stelle man sich eine beständige Kette irgend welcher Art denken kann, die die Mafskette heifsen soll;

W der Widerstand der diese Kette enthaltenden Leitung gemessen bis zum Nebenschliefsdraht;

L der Widerstand des ganzen Nebenschliefsdrahtes;

λ der Widerstand der eigentlichen Nebenleitung, d. h. des Nebenschliefsdrahtes zwischen den Enden des Multiplicatorkreises;

M der Widerstand des Multiplicatorkreises; und endlich

y eine in diesem Kreise befindliche elektromotorische Kraft, von entgegengesetztem Zeichen wie E, z. B. die des in Fig. 4 bei μ bemerkbaren Muskels, dessen Strom der punktirte Pfeil anzeigt.

Setzen wir $L + W = C$, so hat die Stärke der beiden sich deckenden Ströme im Multiplicatorkreise zum Ausdruck:

$$\frac{E\lambda - yC}{(C-\lambda)(M+\lambda) + M\lambda} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(I)}$$

Sie wird also $= 0$ wenn $E\lambda = yC$. Umgekehrt wird diese letztere Beziehung hergestellt jedesmal, dafs man bei entgegengesetzten E und y durch passende Veränderung von λ den Strom im Multiplicatorkreise zum Verschwinden bringt. Man hat alsdann

$$\frac{y}{E} = \frac{\lambda}{C},$$

und man braucht nur das Verhältnifs $\lambda : C$ zu bestimmen, oder, wenn L in Bezug auf W bekannt ist, das von $\lambda : L$, um das Verhältnifs $y : E$, oder den Werth von y als Bruchtheil der elektromotorischen Kraft der Mafskette, zu erfahren.

Dies ist, wie ich kaum zu sagen brauche, nichts als eine leichte Abänderung der von Hrn. Poggendorff angegebenen Compensationsmethode zur Messung der elektromotorischen Kraft unbeständiger Ketten (¹). Die Vortheile dieser Methode sind wesentlich folgende. 1. Man umgeht die Schwierigkeiten, die bei jedem anderen Verfahren aus der Polarisation der Elektroden erwachsen, dadurch dafs man den Strom gar nicht zustande kommen läfst, sondern, wie Hr. Poggendorff sich ausdrückt, gleichsam nur die Tendenz zu seiner Entstehung mifst. 2. Eine einzige Bestimmung, wobei die zu messende Kraft in Betracht kommt, liefert deren Werth. Die Genauigkeit der Messung selber wird also auch durch solche Schwankungen der Kraft nicht beeinträchtigt, welche unabhängig von der Herstellung des Stromes eintreten. 3. Der Widerstand des Multiplicatorkreises fällt aus der Bedingungsgleichung für das Verschwinden des Stromes in diesem Kreise heraus. Dieser Widerstand braucht kein beständiger zu sein, und es kommt auf die Schwankungen desselben nicht an, deren Sitz die Berührungsstelle des Nebenschliefsdrahtes und des beweglichen Endes r des Multiplicatorkreises leicht wird. 4. Die genaue numerische Vergleichung der elektromotorischen Kräfte kann dergestalt geschehen ohne einen graduirten Multiplicator oder sonst eine galvanometrische Vorrichtung, da es sich nicht darum handelt, wie stark ein zu beobachtender Strom sei, sondern nur darum, ob ein Strom vorhanden sei oder nicht.

Da aus den thierisch-elektrischen Versuchen die Polarisation der metallischen Elektroden jetzt verbannt ist, so könnte es scheinen, als habe der unter 1. aufgeführte Umstand für uns an Gewicht verloren. Wegen der inneren Polarisation sind indefs die thierischen Erreger noch immer den Ketten von unbeständiger Kraft beizuzählen (vergl. oben S. 93 Anm. 1), und die durch das Absterben u. d. m. bedingte Abnahme ihrer Kraft macht auch den zweiten Punkt im höchsten Grade schätzbar. Der Compensationsmethode in einer oder der anderen Form wird man sich daher noch stets am besten

(¹) Annalen u. s. w. 1841. Bd. LIV. S. 161.

bedienen, um die elektromotorische Kraft der Muskeln und Nerven mit derjenigen bekannter galvanischer Combinationen, z. B. eines Daniells, in Beziehung zu setzen (1).

Inzwischen ist die Erforschung dieses Verhältnisses mehr eine Sache der wissenschaftlichen Neugier, als dafs sich vor der Hand wichtige Folgerungen daran knüpften; und besonders stellt sich dies so dar, wenn man die von mir entwickelte Ansicht gelten läfst, wonach die nach Aufsen gelangenden elektromotorischen Wirkungen der Nerven und Muskeln nur ein unbestimmbarer Bruchtheil der inneren Wirkungen sind (2). Ohnehin werden wenige Messungen genügen, jenes Verhältnifs ein für allemal festzustellen; für die wahrhaft lehrreichen Versuche aber, über die Kraft der thierischen Erreger im Vergleich zu der elektrochemischer Combinationen, ist die unmittelbare Entgegensetzung beider Stromquellen im nämlichen Kreise vorzuziehen, wovon ich anderwärts ein Beispiel gegeben habe (3).

Dagegen was von der höchsten Wichtigkeit erscheint, ist, die elektromotorischen Kräfte der Nerven und Muskeln unter verschiedenen Umständen rasch, sicher und bequem vergleichen zu können, ja die Reihe der Fragen, die sich zudrängen, sobald einmal die Möglichkeit einer solchen Bestimmung eröffnet ist, hat gar kein Ende. Dies wünschenswerthe Ziel nun scheint durch die Methode der Compensation in der oben beschriebenen Gestalt, welche von der Poggendorff'schen etwas abweicht, erreicht zu sein.

Diese Abweichung besteht darin, dafs, während wir das Ende r des Multiplicatorkreises am Nebenschliefsdraht verschieben, Hr. Poggendorff dies Ende fest läfst, dafür aber die Länge der eigentlichen Nebenleitung, deren Widerstand wir λ nannten, verändert bis der Strom verschwindet. Bei Hrn. Poggendorff bleibt also der Widerstand des die Mafskette enthaltenden Zweiges beständig. Bei uns wird dieser Widerstand stets um

(1) Hr. Jules Regnauld hat dies mit Hülfe seines Compensationsverfahrens durch thermoëlektrische Ketten zu thun angefangen (Comptes rendus etc. 15 Mai 1854. t. XXXVIII. p. 891). Hr. Poggendorff hat bereits mit Recht bemerkt, dafs derselbe Zweck weit vollkommener und bequemer durch die früher von ihm angegebene Methode erreicht werde (Annalen u. s. w. 1854. Bd. XCI. S. 628).

(2) Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 689.

(3) De Fibrae muscularis Reactione ut Chemicis visa est acida. Auctore Aem. du Bois-Reymond. Berolini 1859. 4. p. 43.

ebensoviel vergröſsert oder verkleinert, als der der Nebenleitung verkleinert oder vergröſsert.

In Folge davon nimmt die Bedingungsgleichung für das Verschwinden des Stromes im Multiplicatorkreise in Hrn. Poggendorff's und in unserem Falle eine wesentlich verschiedene Gestalt an. In unserem Falle heiſst sie

$$y = \frac{E}{C} \cdot \lambda \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(II)}$$

Da E und C Constanten sind, so ist y, die zu messende elektromotorische Kraft, eine lineare Function von λ, und zwar λ einfach proportional. Nicht so bei Hrn. Poggendorff. Um seinen Fall mit dem unseren in Vergleich zu bringen, ist nur nöthig, sich zu denken, die Nebenleitung von veränderlichem Widerstande λ sei unmittelbar zwischen den Punkten N und S unseres Schema's (Fig. 4) angebracht. Nennen wir diesmal u die zu messende elektromotorische Kraft im Multiplicatorkreise, so hat die Stärke der beiden darin sich deckenden Ströme zum Ausdruck:

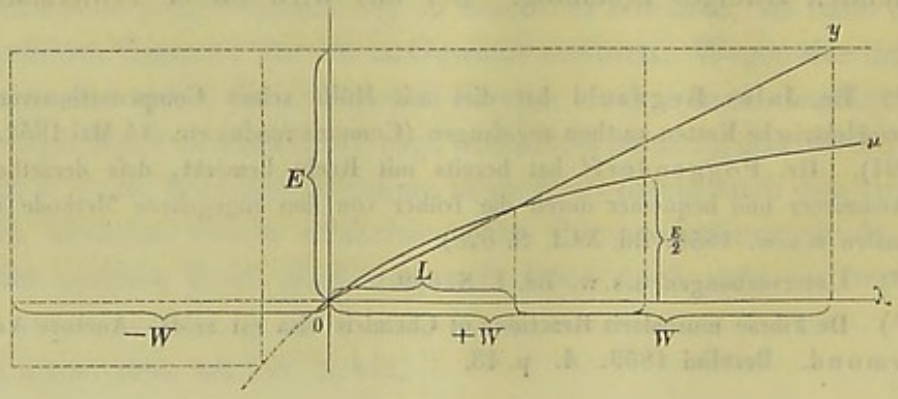
$$\frac{E\lambda - u\,(\lambda + W)}{W\,(M + \lambda) + M\lambda};$$

an Stelle von $C - \lambda$ in unserer Formel (I) ist W getreten. Die Bedingungsgleichung (II) lautet demgemäſs jetzt

$$u = \frac{E\lambda}{\lambda + W} = E - \frac{EW}{\lambda + W},$$

d. h. u als Function von λ wird dargestellt, indem man die Ordinaten einer gleichschenkligen, auf ihre Asymptoten bezogenen Hyperbel, deren Asymptoten zu Gleichungen haben $u = E$, und $\lambda = -W$, und deren Potenz EW, abzieht von den Ordinaten der den Abscissen parallelen Asymptote. S. die Curve $0u$ in Fig. 5, worin die Gerade $0y$ zugleich den Gang der linearen

Fig. 5.



Function y in unserem Falle vorstellt. Für $\lambda = W$ ist $u = \frac{E}{2}$; für $\lambda = C - W = L$ schneidet die Gerade unseres Schema's die Hyperbel des Poggendorff'schen, vermöge einer bekannten Eigenschaft dieser Curve. Für $\lambda = C$ ist die Ordinate unseres Schema's $= E$, welche Gröfse die des Poggendorff'schen erst für $\lambda = \infty$ erreicht.

Es bedarf also, bei letzterem Schema, noch stets einer gewissen Rechnung, um die relative Gröfse der Kraft zu finden, während in unserem Falle dazu nichts gehört, als die Messung der Strecke Nr (Fig. 4), der Entfernung der Enden des Multiplicatorkreises auf dem Nebenschliefsdraht, der ja der Widerstand λ proportional ist. Mit einem Wort, am Nebenschliefsdraht, wie wir ihn anwenden, mifst sich die elektromotorische Kraft, wie das Zeug an der Elle. So viel ich weifs, ist diese merkwürdige Eigenschaft unseres Schema's bisher der Aufmerksamkeit der Elektriker entgangen.

Hr. Poggendorff empfiehlt die Messung so anzustellen, dafs man bei einer passenden Länge der Nebenleitung den Multiplicatorkreis einen Augenblick schliefst, um zu sehen, ob und wohin noch ein Ausschlag erfolge, oder ob und in welchem Sinne man jene Länge noch zu verändern habe um sich dem Gleichgewicht zu nähern, und so tastend fortfährt, bis man die Länge getroffen hat, bei der die Nadel auf Null verharrt. Zu dieser Vorschrift zwangen ihn die Ladungen der unbeständigen Combination, deren elektromotorische Kraft zu messen er sich vorgesetzt hatte. Bei Abwesenheit merklicher metallischer Ladungen in unserem Falle könnte man jetzt so verfahren wollen, dafs man bei geschlossenem Multiplicatorkreise die Länge der Nebenleitung so lange veränderte, bis die Nadel nach dem Nullpunkt zurückkehrte. Inzwischen bleibt es noch immer rathsam, die Messung nach der von Hrn. Poggendorff angegebenen Art zu leiten, weil man so die innere Polarisation der thierischen Theile vermeidet (s. oben S. 93. Anm. 1). Aufserordentlich bequem zeigt sich übrigens dabei, wegen der Dämpfung der Schwingungen, der Gebrauch der Spiegelbussole, so dafs sie dadurch sofort an Bedeutung für dieses Gebiet wiedergewinnt, was ihr der Compensator, indem er die Messungen von Stromstärken überhaupt in den Hintergrund drängt, daran zu nehmen drohte. Das beste Multiplicatorgewinde wird aber auch hier, wie leicht ersichtlich, das sein, welches sonst für den Nerven- oder Muskelstrom das passendste gewesen wäre.

Bereits an der vorher beschriebenen rohen Vorrichtung kann man die Längenmessung des Nebenschliefsdrahtes mit einer für die meisten Zwecke hinreichenden Genauigkeit vornehmen, wenn man unter den Messingdraht eine gedruckte Millimeterscale klebt. Bei den angegebenen Verhältnissen genügt der Messingdraht, um von dem Strom eines einzigen Daniells einen Zweig abzuleiten, der den Muskelstrom im Multiplicatorkreise überwiegt. Nichts verhindert, wenn dieser Draht gelegentlich nicht ausreichen sollte, ihn durch einen längeren oder dünneren zu ersetzen, zwei Daniells nebeneinander anzuwenden, oder noch besser, die Daniell'sche Kette durch die Grove'sche zu ersetzen. Mehrere Daniells hintereinander helfen nicht viel, weil der Widerstand des Messingdrahtes schon gegen den eines Daniells nur klein ist.

Vollkommener und bequemer wird der vorgesetzte Zweck erreicht durch das in Fig. 6. Taf. I. im Aufrifs und in halber natürlicher Gröfse vorgestellte Instrument, weches die Werkstatt der Hrn. Siemens und Halske liefert. Diese Figur ist nur bestimmt, eine allgemeine Vorstellung von der Gestalt des Instrumentes zu geben, dessen sämmtliche Theile im Einzelnen verständlich zu machen, zu viel Abbildungen erfordert hätte. Der Stromlauf in dem Instrument erhellt aus Fig. 6 *a*.

An Stelle des Messingdrahtes tritt hier ein Platindraht von 1^{mm} Dicke bei gleicher reducirter Länge mit jenem, nämlich nur etwa 370^{mm} lang. Anstatt diesen Draht gerade auszuspannen, das eine Multiplicatorende daran verschiebbar, und dessen Entfernung vom anderen an einer Längentheilung mefsbar zu machen, zog Hr. Halske es vor, ihn gleichsam in Gestalt einer einzigen, sehr sorgfältig gearbeiteten Agometer-Windung um den isolirenden Umfang einer kreisrunden Scheibe zu biegen, und an Stelle der Messung jener Entfernung die Messung einer Drehung der Scheibe um ihre Axe zu setzen. Diese Einrichtung verspricht einen dreifachen Vortheil. Erstens nimmt das Instrument keinen gröfseren Raum ein, als etwa ein fünfzölliger Azimuthalkreis. Zweitens bewegt sich der Draht, und das daran verschiebbare Multiplicatorende bleibt stehen. Man hat also diesem nicht mit dem Auge behufs der Ablesung über eine Strecke von fast vier Decimetern zu folgen, sondern die Ablesung geschieht an einem festen Zeiger. Drittens stellt sich der Preis des Instrumentes niedriger als bei der anderen Gestalt, weil die Anfertigung winkelmessender Instrumente geläufiger, als die von

Längen-Meſsvorrichtungen ist, und die meiste Arbeit daran sich auf der Drehbank ausführen läſst.

In Fig. 6 *a* ist *N* 0 *r′ r S* der Nebenschlieſsdraht. Man sieht ihn in Fig. 6 bei *r r′* in einer Nuth am Umfang eines gut abgedrehten Ringes aus Kammmasse, von 65^{mm} Halbmesser, aufgewunden, welcher eine Messingscheibe umgiebt, deren Oberfläche den getheilten Kreis trägt. Die beiden Enden des Drahtes *N*, *S*, welche in Fig. 6 unsichtbar sind, stehen ein für allemal in Verbindung mit den Klötzen ν, σ eines Stöpselumschalters, der in der Mitte der Scheibe angebracht ist. Die beiden anderen Klötze 1 und 2 des Umschalters stehen ihrerseits durch die in Fig. 6 sichtbaren Schraubenklemmen 1*, 2*, und durch Drähte, welche in der hohlen Axe des Instruments verlaufen, in Verbindung mit den Klemmen I und II an dessen hölzernem Fuſsgestell. Diese sind zur Aufnahme der Enden der Maſskette *D* bestimmt, und der Umschalter wird so gestellt, daſs der im Multiplicatordraht kreisende Stromzweig der Maſskette die entgegengesetzte Richtung des Stromes der in diesem Zweige befindlichen thierischen Kette, also z. B. des Muskels μ, hat (s. Fig. 6 *a*). Am Punkte 0, der in Fig. 6 gleichfalls versteckt ist, geht der Nebenschlieſsdraht über einen scharfen Platinsteg, der durch einen abermals in der Axe verlaufenden Draht mit der Klemme IV und dadurch mit dem einen Ende des Multiplicatorkreises verknüpft ist. Endlich *r* ist ein Platinröllchen, dessen Platinaxe an einer Feder befestigt ist, die dasselbe gegen den Nebenschlieſsdraht drückt. Die Feder ist, wie Fig. 6 zeigt, an einer Säule befestigt, die zugleich den festen Zeiger und darüber die Lupe zum Ablesen der Drehung trägt. Eine hier befindliche Schraubenklemme 3 steht in Ver-

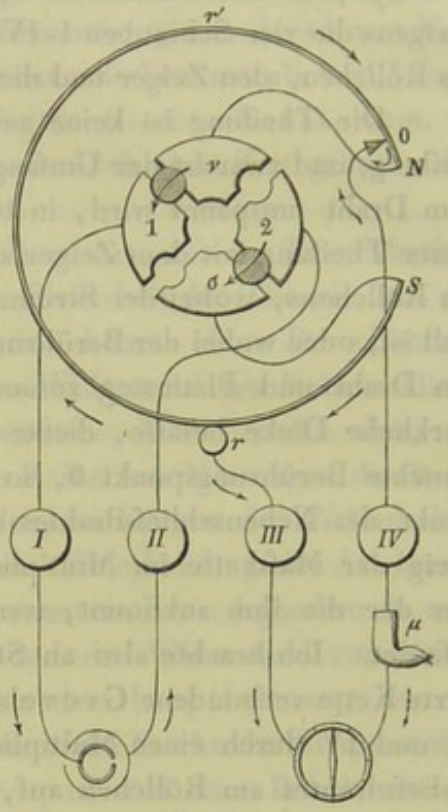


Fig. 6 *a*.

bindung mit der Schraubenklemme III am Fufsgestell, die das andere Ende des Multiplicatorkreises aufnimmt. Löst man die Schraube g in der Hauptfigur, so kann man die Scheibe aus der Hand mittels der vier daran nach unten ragenden Stifte drehen. Zieht man g an, so gewährt in bekannter Weise f eine mikrometrische Einstellung. In Wirklichkeit befinden sich übrigens die vier Schrauben I-IV an der Seite des Instruments, wo sich die das Röllchen, den Zeiger und die Lupe tragende Säule erhebt.

Die Theilung ist keine gewöhnliche Kreis-, sondern eine Decimaltheilung, und zwar ist der Umfang der Scheibe, in der Ausdehung in der sie vom Draht umspannt wird, in 1000 Theile getheilt. Um den Nullpunkt dieser Theilung mit dem Zeiger zusammenfallen zu machen bei der Stellung des Röllchens, wobei der Stromzweig der Mafskette im Multiplicatorkreise Null ist, oder wobei der Berührungspunkt von Röllchen und Draht mit dem von Draht und Platinsteg zusammenfallen würde, wenn der Draht keine merkliche Dicke besäfse, diente mir folgender Kunstgriff. Es heifse der gesuchte Berührungspunkt 0, so ist klar, dafs, wenn das Röllchen einen Punkt des Nebenschliefsdrahtes zwischen N und 0 berührt, der Stromzweig der Mafskette im Multiplicatorkreise die umgekehrte Richtung hat von der die ihm zukommt, wenn sich das Röllchen von N aus jenseits 0 befindet. Ich brachte also an Stelle der Mafskette zwei als zusammengesetzte Kette verbundene Grove'sche Elemente der gröfseren Art, verband III und IV durch einen Multiplicator, und suchte die Stellung des Nebenschliefsdrahtes am Röllchen auf, die sich mit äufserster Schärfe bestimmen liefs, wobei der Stromzweig im Multiplicator seine Richtung wechselte. Bei dieser Stellung schraubte ich den bis dahin seitlich verschiebbaren Zeiger dergestalt fest, dafs der Strich darauf mit dem Nullstrich der Theilung zusammenfiel. In der nächsten Umgebung des Punktes 0 ist es nicht zu verlangen, dafs die, sonst an dem Instrument zu erwartende, einfache Beziehung zwischen y und der Länge der Strecke $0r$ stattfinde, weil der Platindraht verhältnifsmäfsig zu dick ist, um als linearer Leiter zu gelten. Doch scheint dieser Umstand, wie wir sogleich sehen werden, schon in sehr geringer Entfernung keinen Einflufs mehr zu üben.

Die Leistungen des Instrumentes im Versuch zu prüfen, müfste man eine Anzahl beständiger elektromotorischer Anordnungen nehmen, deren Gesammtkraft der eines Muskels etwa gleichkäme, und bei verschie-

denen Widerständen im Mafskettenzweige 1, 2, 3 ... davon im Multiplicatorzweige compensiren. Das Verhältnifs der dazu nöthigen Längen des Nebenschliefsdrahtes müfste dabei stets dasselbe bleiben. Als ich diesen Versuch mittels Säure-Alkali-Ketten in's Werk setzte, fand sich, dafs dieselben durchaus nicht hinreichend beständig waren, um sie zur Prüfung eines Mefswerkzeuges zu verwenden. Thermoëlemente, gleich denen von Hrn. Jules Regnauld, deren etwa 6 dem Strom zwischen natürlichem Längs- und künstlichem Querschnitt die Wage halten (s. oben S. 111. Anm. 1), würden vielleicht das Richtige sein. Ich habe noch nicht Zeit gehabt, den Versuch mit solchen Ketten zu wiederholen.

Es gab aber noch eine andere, mittelbare Art, sich der Brauchbarkeit des Instrumentes zu vergewissern. Bei der Sicherheit der Theorie, aus der das Princip seiner Construction geschöpft ist, könnte diese Brauchbarkeit nur dadurch beeinträchtigt sein, dafs der Widerstand des Nebenschliefsdrahtes nicht proportional seiner Länge wüchse. Man braucht also, um das Instrument zu prüfen, nur irgend eine Reihe von Messungen damit anzustellen, bei denen sich ergiebt, ob gleichen Längen des Platindrahtes gleiche Widerstände entsprechen oder nicht. Eine Prüfung der Art beruht auf der Bemerkung Petrina's (¹), dafs, wenn ein Kreis irgendwo in zwei Nebenleitungen A und B gespalten ist, und der Widerstand von A verschwindet gegen den von B und gegen den der Hauptleitung, wie wir die ungespaltene Stromstrecke nennen wollen, die Stärke des Stromzweiges in B dem Widerstande von A annähernd proportional sei. Behält man die oben gebrauchten Bezeichnungen bei, so ist die Stärke des Stromzweiges der Mafskette im Multiplicatorkreise

$$I = \frac{E\lambda}{(C-\lambda)(M+\lambda)+M\lambda} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(III)}$$

Läfst man λ gegen C und M verschwinden, so bleibt übrig

$$I = \frac{E}{CM} \cdot \lambda$$

Um diese Beziehung zur beabsichtigten Prüfung zu verwenden, nahm ich zwischen die Klemmen III und IV die Tangentenbussole mit Spiegelablesung und 12000 Windungen auf, an der die Ablenkungen den Stromstärken so

(¹) Poggendorff's Annalen u. s. w. 1842. Bd. LVI. S. 328. Anm.; — Bd. LVII. S. 111.

nahe proportional sind, dafs die Abweichung zu vernachlässigen ist; zwischen die Klemmen I und II aber eine mehrgliederige Grove'sche Säule und einen angemessenen Widerstand. Es zeigte sich, selbst innerhalb der ersten 5 Tausendtel, einer Strecke also von noch nicht 2^{mm} vom Nullpunkte, die bestmögliche Übereinstimmung. Dies Ergebnifs war um so befriedigender, als bei dieser Art des Versuches der veränderliche Widerstand zwischen Platinröllchen und Nebenschliefsdraht nicht aus der Rechnung fällt, wie bei der Anwendung des Instrumentes zum Compensiren. Es lehrt zugleich, dafs, wenn man es wünschen sollte, man sich des Compensators sehr bequem bedienen kann, um die empirische Graduirung eines Multiplicators nach Petrina auszuführen.

Am Ende S ist der Platindraht wieder über eine scharfe Platinkante gespannt, welche dem tausendsten Strich der Theilung entspricht. Da man somit das Verhältnifs $\lambda : L$ stets unmittelbar abliest, so gehört sich's, um die am Compensator gewonnenen Bestimmungen der elektromotorischen Kraft auf die Kraft der Mafskette als Einheit zu beziehen, nur noch, dafs man das Verhältnifs L zu W kenne. Dies zu finden hat natürlich im Allgemeinen keine Schwierigkeit, doch ist zu bemerken, dafs in gegenwärtigem Falle die Bestimmung der Natur der Dinge nach keine sonderlich scharfe werden kann, weil das Verhältnifs ein zu kleines ist.

Ein Umstand, der beim Gebrauch des Compensators Beachtung verdient, ist die Erwärmung des Nebenschliefsdrahtes durch den Strom. Nimmt man als Mafskette eine Grove'sche Kette, so wird die Erwärmung sehr fühlbar, falls man nicht längere Zuleitungsdrähte anwendet; mit einem Daniell ist sie unmerklich. Auf alle Fälle macht man sie, sofern es sich nicht um absolute Bestimmungen handelt, dadurch unschädlich, dafs man den sich bald einstellenden stationären Zustand abwartet.

Dafs man bei allen Versuchen, wobei die Kette dauernd durch eine kurze Leitung geschlossen ist, besondere Sorgfalt auf deren Beständigkeit verwenden müsse, braucht kaum bemerkt zu werden.

Zuletzt will ich nicht unterlassen, ausdrücklich hervorzuheben, dafs durch die von Hrn. Helmholtz entwickelte Theorie ([1]) der thierisch-elektrischen Ströme die Bedenken endgültig erledigt sind, die ich am

---

([1]) Poggendorff's Annalen u.s.w. 1853. Bd. LXXXIX. S. 211. 353.

Schlusse des ersten Bandes meines Werkes (S. 723 ff.) gegen die Anwendung der Methode der Compensation zum Eliminiren des Widerstandes in thierisch-elektrischen Versuchen erhoben hatte.

§. XII. Von dem Rheochord in seiner Anwendung zu elektrophysiologischen Versuchen.

Nachdem mir dergestalt die Anwendung des Princips der Nebenschliefsung zur Abstufung schwacher elektrischer Ströme am Multiplicator geläufig geworden war, lag es sehr nahe, dasselbe auch auf den Fall zu übertragen, wo Nerven und Muskeln Strömen von willkürlich beherrschbarer Stärke unterworfen werden sollen, wo es sich z. B. darum handelt, Ströme die Nerven treffen zu lassen, welche nicht das Maximum der Zuckung bewirken.

Im Gebiete der Induction gewährt die Veränderung des Abstandes der Nebenrolle von der Hauptrolle ein Mittel, die einzelnen Schläge oder den tetanisirenden Strömungsvorgang mit aller nur wünschenswerthen Feinheit abzustufen. Im Gebiete der beständigen Ströme schlugen die, welche sich Ähnliches vorsetzten, natürlich zuerst den Weg ein, der bei physikalischen Versuchen leicht zum Ziele führte, Veränderung der Stromstärke durch Veränderung des Widerstandes. Allein es fand sich, dafs, wegen des grofsen eigenthümlichen Widerstandes und der Kleinheit der thierischen Theile, mit metallischen Widerständen hier nichts auszurichten sei, man müfste denn dieselben in ganz riesigem Mafsstabe entwickeln; während die Anwendung feuchter Widerstände, wie Hr. Harlefs sie versucht hat, mühsam und zeitraubend ausfällt, und leicht zu Fehlern Anlafs giebt (1).

---

(1) Der feuchte Rheostat des Hrn. Harlefs (Molekuläre Vorgänge in der Nervensubstanz. I. Abhandlung: Voruntersuchungen. Aus den Abhandlungen der K. bayer. Akademie d. Wissenschaften. 1858. II. Cl. VIII. Bd. II. Abth. S. 320. 321 [8. 9]) besteht aus drei mannshohen Glasröhren von 3-4^{mm} Durchmesser, die mit destillirtem Wasser oder mit verdünnter schwefelsaurer Kupferoxydlösung gefüllt werden. Die Umständlichkeit dieser Operation, namentlich wenn die Röhren, nachdem sie die Lösung enthielten, mit destillirtem Wasser gefüllt werden sollen, kann nicht klein sein. Nach Bedürfnifs werden eine, zwei, drei dieser Röhren in den Kreis aufgenommen. Unterabtheilungen der einen Röhre erhält man, indem man einen Kupferdraht bis zu der erforderlichen Tiefe darin versenkt. Dies geschieht mittels eines Fadens, der über eine Rolle am Gipfel einer etwa elf Fufs hohen

Die von mir eingeführte Abstufung der Stromstärken bei Reizversuchen mittels des Princips der Nebenschliefsung ist anzusehen als sei an Stelle der unthunlichen Veränderung des Widerstandes die der elektromotorischen Kraft gesetzt. Der Schliefsdraht einer Kette bietet uns, vermöge der darauf stattfindenden Anordnung der Spannungen, eine Reihe stetig wachsender Spannungsunterschiede dar, die wir den Enden des Nervenkreises, — so soll hinfort der jetzt den Nerven, früher den Multiplicator enthaltende Zweig heifsen —, ertheilen können. Es kann sich nur darum handeln, die beste Gestalt zu ermitteln, die zu diesem neuen Zweck der Vorrichtung zu geben sei. Dabei kommt es auf folgende Punkte an.

Erstens mufs die Veränderung des Widerstandes des Nebenschliefsdrahtes so geschehen, dafs weder, wenn man diese Veränderung durch Verschiebung des einen Endes des Nervenkreises am Nebenschliefsdraht bewerkstelligt, eine Trennung beider, noch, wenn man den Nebenschliefsdraht selbst verlängert, eine Öffnung der Nebenschliefsung zu befürchten sei. In

---

Säule geht, woran die Röhre aufgerichtet ist. Auch die Verbindungen der Röhren unter sich und mit dem anderen Ende des Kreises sind aus Kupfer, und somit enthält die Vorrichtung nicht weniger als drei Elektrodenpaare, an denen eine dreifache Ungleichartigkeit, und, da gewisse Gründe die Anwendung einer hinlänglich concentrirten Kupferlösung verbieten, dreifache, bei der Kleinheit der Flächen sogar sehr starke Polarisation stattfindet. Wie dabei der Strom habe auch nur einigermafsen beständig bleiben, oder in verschiedenen Versuchen gleiche Stromstärken denselben Rheostatenständen haben entsprechen können; wie der Einflufs der Stromrichtung erforscht werden konnte, da doch beim Umkehren des Stromes die Polarisation sich plötzlich zur Kraft der Kette hinzufügte statt sich davon abzuziehen, ist schwer zu begreifen. Wenn die Spitze des Kupferdrahtes, durch dessen Heben und Senken der Strom beherrscht werden sollte, negativ war, mufste deren Bewegung nach bekannten Erfahrungen (Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 212. Anm. 1) von einer Hebung des Stromes begleitet sein. Diese Wirkung, die sich zu der durch Veränderung des Widerstandes erzeugten algebraïsch summirte, fehlte hingegen, wenn jene Spitze positiv war. Hr. Harlefs beschränkte sich aber nicht darauf, diese Vorrichtung zum Abstufen der Stromstärke zu benutzen, sondern er mafs damit auch Widerstände. In Vergleich mit den bezeichneten Fehlern wird es wenig zu sagen gehabt haben, dafs die Röhren nicht cylindrisch waren, und dafs Hr. Harlefs, statt die Röhren zu calibriren, sich begnügte, deren mittleren Querschnitt zu bestimmen. Wenn aber Hr. Harlefs so gemessene Widerstände thierischer Theile auf neun, ja auf zehn Stellen genau angiebt, während beim Messen metallischer Widerstände mittels der Wheatstone'schen Brücke Hr. Siemens z. B. sich mit höchstens fünf Stellen begnügt (Poggendorff's Annalen u. s. w. 1860. Bd. CX. S. 1 ff.), so ist dies gewifs nicht geeignet, das Mifstrauen zu mildern, womit jeder Physiker sogar auf die erste Stelle in Hrn. Harlefs Zahlen blicken wird.

dem einen Falle würde eine nicht zum Versuch gehörige, vielleicht schädliche, jedenfalls unnütze Erregung stattfinden. In dem anderen würde der Nerv plötzlich dem ungeschwächten Strom der Kette ausgesetzt sein. Dies sind Rücksichten, die den Physikern bei der Erfindung der beweglichen Verbindungen an den Rheochorden fremd waren, und welche keine Wahl übrig lassen, als zwischen der von Hrn. Neumann herrührenden Quecksilberverbindung, und federnden Schiebern. Letztere lassen sich auf sehr verschiedene Art einrichten, sie haben aber immer den Nachtheil, dafs sie bei häufigem Gebrauche den Draht angreifen. Von diesem Fehler ist die Neumann'sche Vorrichtung verhältnifsmäfsig frei und verdient schon darum den Vorzug.

Zweitens mufs der Widerstand der Nebenleitung im Vergleich zu dem des Nervenkreises so klein gemacht werden können, dafs bei der gewöhnlich angewendeten elektromotorischen Kraft keine merkliche Erregung des Nerven erfolgt.

Drittens sollte der Widerstand der Nebenleitung auch wiederum so grofs gemacht werden können, dafs die durch den Draht bewirkte Schwächung des Stromzweiges im Nervenkreise nicht mehr in Betracht komme. Dies ist bekanntlich der Fall, wenn der Widerstand der Hauptleitung gegen den der beiden Nebenleitungen verschwindet. Alsdann nehmen die Enden dieser beiden Leitungen den nämlichen Unterschied der Spannungen an, als ob jede derselben allein vorhanden wäre und die elektromotorische Kraft enthielte (¹). Behalten wir unsere obigen Bezeichnungen mit dem Unterschiede bei, dafs wir N für M schreiben, da an Stelle des Multiplicatorkreises jetzt der Nervenkreis getreten ist, und setzen wir L und N sehr grofs gegen W, so verschwindet, für $\lambda = L$, das erste Glied des Nenners in (III) gegen das zweite, und die Stromstärke wird im Nervenkreise

$$I = \frac{E\lambda}{N\lambda} = \frac{E}{N},$$

in der Nebenleitung

$$I_{,} = \frac{EN}{\lambda N} = \frac{E}{\lambda}.$$

(¹) Untersuchungen über thierische Elektricität. Bd. I. 1848. S. 572.

Man wird also, wenn W gegen N und L zum Verschwinden gebracht werden kann, ohne eine neue elektromotorische Kraft zu Hülfe zu nehmen, den Nerven einem eben so starken Strome aussetzen können, als ob gar keine Nebenleitung vorhanden wäre.

Viertens darf bei Stromschwankungen keine Induction im Nebenschliefsdraht stattfinden, wodurch der zeitliche Verlauf des Stromes geändert würde, auf den in Reizversuchen so viel ankommt. Kann der Draht, zu grofser Länge halber, nicht gerade ausgestreckt bleiben, so ist er im Zickzack zu führen, oder ein Theil davon ist auf Rollen halb im einen, halb im anderen Sinne zu wickeln. So sind bereits wegen der Nachtheile, die auch bei anderen Versuchen aus der Induction erwachsen, die Rollen an dem Stöpselrheostat von Siemens und Halske (1) gewickelt, den Hr. Moleschott, auffallenderweise ohne dieses wichtigen Umstandes zu gedenken, empfiehlt (2), der aber in seiner jetzigen Gestalt für elektrophysiologische Zwecke nicht wohl brauchbar ist, weil er nur aus Rollen besteht, folglich den Widerstand nur in Sprüngen abzustufen erlaubt.

Fünftens und schliefslich scheint es nämlich wünschenswerth, dafs der Widerstand der Nebenleitung zwischen den unter 2. und 3. angegebenen Grenzen stetig verändert werden könne.

Die Form der Vorrichtung, der wir bis jetzt den Vorzug schenkten, wobei die Hauptleitung immer um ebensoviel verkürzt, wie die Nebenleitung verlängert wird, läfst aus leicht ersichtlichen Gründen die Erfüllung der dritten unter diesen Bedingungen nicht wohl zu. Ohnehin büfst für den gegenwärtigen Zweck unser Schema den Vorzug ein, den es für den Zweck elektromotorischer Kraftmessungen vor dem Poggendorff'schen Schema besitzt, wobei nur die Nebenleitung verlängert wird. Hr. Pflüger, dem ich im Beginn seiner elektrophysiologischen Forschungen das hier in Rede stehende Verfahren mittheilte, und in dessen Händen dasselbe rasch umgestaltend in die Lehre von den Reizversuchen eingriff (3), that deshalb wohl daran, bei dem Bau seines gröfseren Rheochords zum Poggendorff'schen Schema zurückzukehren, wobei jene Bedingung leicht erfüllt wird.

---

(1) Siemens in Poggendorff's Annalen u.s.w. 1857. Bd. CII. S. 75. Taf. I. Fig. 4.

(2) Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. Bd. VII. 1860. S. 404; — Bd. VIII. 1861. S. 2.

(3) Untersuchungen über die Physiologie des Electrotonus. Berlin 1859. S. 121 ff.

Hr. Pflüger bestimmte die Länge eines 0.3^{mm} dicken Neusilberdrahtes, welcher, bei einer zehngliederigen Grove'schen Säule in der Hauptleitung, als Nebenleitung zum Nervenkreise den Strom in letzterem um nur etwa $\frac{1}{7}$ schwächt, zu etwa 14^{m}. Er empfand übrigens das Bedürfnifs, zum Zweck feiner Abstufung sehr schwacher Ströme, noch ein kleineres Rheochord zu haben. Diesem liefs er ganz meine erste Einrichtung, nur dafs er daran mit der Spirale, wodurch ich das eine Ende des Nervenkreises am Nebenschliefsdraht verschiebbar zu machen pflegte, den Eisendraht verband, der nur mit dem Quecksilberrohr nöthig wird; was nicht vortheilhaft erscheint, da Eisen schlechter leitet, und leichtet rostet, als Messing.

Ich bin, nach vielen Überlegungen, im Verein mit Hrn. Sauerwald, bei der Gestalt des Rheochords für elektrophysiologische Zwecke stehen geblieben, die Taf. II. Fig. 7 im Grundrifs und, bis auf die Länge des Kastens, die etwa noch einmal so stark verkleinert ist, in $\frac{1}{3}$ der natürlichen Gröfse zeigt. Es liegt dieser Gestalt, wie dem gröfseren Pflüger'schen Rheochord, das Poggendorff'sche Schema zu Grunde. Die ganze Vorrichtung ist aber zu einem flachen, länglichen Kasten von nur 1178^{mm} Länge, 175^{mm} Breite und 52^{mm} Höhe zusammengedrängt, so dafs alle Handhabungen innerhalb der bequemen Reichweite einer sitzenden Person bleiben.

Auf dem Boden dieses Kastens, den man sich umgestürzt denken mufs, verlaufen, der einen langen Seite entlang, zwei Platindrähte $s\sigma w$, $s,\sigma,w,$ von 0.3^{mm} Durchmesser und etwas über ein Meter Länge. Jeder derselben ist zwischen einem vorderen Platinsteg s, $s,$ und einem hinteren Elfenbeinsteg σ, $\sigma,$ mittels eines Wirbels w, $w,$ ausgespannt. Es schien nicht der Mühe werth den Einflufs zu berücksichtigen, den die Spannung von Drähten auf ihren Widerstand äufsert, und den hier nothwendigen Zug an den Platindrähten durch Gewichte ausüben zu lassen. Unter den Platindrähten läuft auf einer Holzleiste von schwalbenschwanzförmigem Querschnitt ein Messingschlitten, der zwei mit Quecksilber gefüllte Röhren von polirtem Stahl trägt, durch welche die Platindrähte hindurchgehen. Man sieht diese Anordnung in Fig. 7 *a*, *b*, in halber natürlicher Gröfse abgebildet, und zwar in Fig. 7 *a* im senkrechten Durchschnitt auf die Axe der Röhren, in Fig. 7 *b* im seitlichen Aufrifs, bis auf die auch hier im Durchschnitt dargestellte, dem Beschauer nähere Röhre. An dem hinteren Ende sind die

Röhren durch Korke verschlossen, welche von den Drähten durchbohrt werden. Vorn sind sie nach Art eines zugeblasenen Rohres gewölbt und an der Kuppe mit einer glatten Öffnung versehen, welche die Drähte, indem sie durch dieselbe treten, so ausfüllen, dafs das Quecksilber daneben erst unter einem merklichen, auf den Kork ausgeübten Drucke herausträufelt.

Durch den Schlitten und die ihm aufgelötheten beiden Stahlröhren wird zwischen den sonst von einander isolirten Platindrähten eine gut leitende Brücke hergestellt, deren Widerstand nicht in Betracht kommen soll gegen den des Stückes der Drähte zwischen den Stegen s, $s_,$ und den Röhren. Steg s befindet sich an einem und demselben Messingklotz mit der doppelten Schraubenklemme P, welche das eine Ende der Kette und des Nervenkreises aufnimmt, wie Fig. 7 zeigt. Steg $s_,$ steht durch die gleich näher zu betrachtende Leitung $s_, Q$ mit der entsprechenden Doppelklemme Q in Verbindung, zu der die anderen Enden der Kette und des Nervenkreises gehen.

Dafs die stählernen Quecksilberröhren vorn nicht durch einen Kork verschlossen, sondern in eine metallene Kuppe endigen, hat zur Folge, dafs, wenn man sie mit diesen Kuppen gegen die Platinstege s, $s_,$ drückt, die Nebenleitung für den Nervenkreis durch den Steg s, jene Röhren nebst dem Schlitten unmittelbar, den Steg $s_,$ und die Leitung $s_, Q$ gebildet wird. In diesem Falle ist der Widerstand der Nebenleitung so klein, dafs, wenn nicht die Kette von ungewöhnlich grofser elektromotorischer Kraft ist, der Nerv in seinem Kreise keine Erregung erfährt. Auf alle Fälle würde es stets leicht sein, diesen Zustand dadurch herbeizuführen, dafs man in die Hauptleitung einen metallischen Widerstand aufnimmt, da für λ sehr klein gegen W und N,

$$\frac{E\lambda}{(W+N)\lambda + WN} \text{ annähernd} = \frac{E\lambda}{WN},$$

d. h. W umgekehrt proportional wird. Längs der Schlittenbahn ist eine 1^m lange Millimeterscale (Fig. 7, 0-1000) aufgeklebt. Bei der oben beschriebenen Stellung des Schlittens steht ein daran befindlicher Zeiger z auf dem Nullpunkte der Theilung. Durch Verschieben des Schlittens nach den Stegen σ, $\sigma_,$ am hinteren Ende des Rheochords kann man 2^m des Platindrahtes in die Nebenschliefsung aufnehmen. Reicht dieser Widerstand nicht

aus, so läfst er sich folgendermafsen noch bis um das zwanzigfache vermehren.

Die Leitung σ, Q besteht aus einer Reihe von sechs parallelepipedischen Messingklötzen, die auf einer Platte von Kammmasse so befestigt sind, dafs sie fünf kleine Zwischenräume zwischen sich lassen. Klotz 1 hängt unmittelbar zusammen mit Steg $s_{,}$, Klotz 6 trägt die Doppelklemme Q. Die fünf Zwischenräume zwischen den Klötzen sind für gewöhnlich, wie an den Stöpselumschaltern, mit Stöpseln ausgefüllt, die Fig. 7 im Querschnitt zeigt. Aufser durch die Stöpsel stehen aber die Klötze noch im Inneren des Kastens in Verbindung durch kürzere oder längere Strecken Neusilberdraht, welche an der inneren Fläche des Kastenbodens in Gestalt haarnadelförmiger Ösen, wo es nöthig ist, zickzackförmig ausgespannt sind. Diese Leitungen sind in Fig. 7, gleich der Länge des Kastens in doppelt kleinerem Mafsstabe als das Übrige, punktirt gezeichnet. Die Drähte zwischen Klotz 1 und 2, und 2 und 3 ($I\,b$, c) haben denselben Widerstand, wie die Platindrähte, wenn z auf 1000^{mm} steht. Zwischen 3 und 4 beträgt der Widerstand das doppelte (II), zwischen 4 und 5 das fünffache (V), zwischen 5 und 6 das zehnfache (X) von jenem. Die Stöpsel bilden, in Bezug auf die Drähte, Nebenschliefsungen von verschwindendem Widerstande, welche nur entfernt zu werden brauchen, um den Widerstand der Nebenleitung um das ein-, zwei-, fünf-, oder zehnfache vom Widerstande der Platindrähte zu erhöhen. Aus diesen Zahlen kann man von eins bis zwanzig jede beliebige Zahl zusammensetzen.

Die Widerstände werden mittels der Wheatstone'schen Brücke abgestimmt. Um dies mit aller Feinheit thun, und dabei doch den Drähten die gehörige Spannung geben zu können, dafs sie nicht im Inneren des Kastens lose werden und mit einander in Berührung gerathen, wird folgendermafsen verfahren. Das eine Ende des abzupassenden Drahtes ist bereits an den zu seiner Aufnahme bestimmten, von oben in's Innere des Kastens herabragenden Fortsatz des einen Messingklotzes gelöthet; das andere ist an dem entsprechenden Fortsatze des benachbarten Klotzes vorläufig unter einer lose angeschraubten Platte mit Reibung verschiebbar. Biegt der Draht von Klotz zu Klotz nur in Einer Öse um, wie es der Fall ist für Ib, Ic, II, so wird die Öse in die Hohlkehle eines Elfenbeinscheibchens gelegt, das

excentrisch an einem Wirbel sitzt (Fig. 7, 7*a*). Der Wirbel wird so in den Boden eingedreht, dafs der Widerstand schon ungefähr der verlangte, nur etwas kleiner ist; durch das Drehen der excentrischen Scheibe wird er dann auf das richtige Mafs gebracht, während zugleich der Draht die geeignete Spannung erhält. Steht die Nadel des Galvanoskops in der Brücke auf Null ein, so wird auch das zweite Ende des Drahtes festgeschraubt und verlöthet. Hat der Draht zickzackförmig hin und her zu laufen, wie es für die Widerstände *V* und *X* nöthig wird, so geschieht nur die letzte Biegung um eine excentrische Scheibe, die übrigen um Pflöcke, wie man in Fig. 7 unterscheidet.

Zum Gesammtwiderstande des von Hrn. Pflüger beschriebenen gröfseren Rheochords verhält sich der des unsrigen etwa wie 1 : 0.6 ([1]). Die vier ersten oben gestellten Bedingungen erfüllt also unsere Einrichtung vollständig genug, um es zunächst dabei bewenden zu lassen. Was aber die fünfte Bedingung betrifft, so ist diese dabei allerdings zum Theil aufgegeben. Man kann zwar an unserem Rheochord den Widerstand innerhalb eines Zwanzigtels seines Gesammtwerthes stetig erhöhen, und, im Gegensatz zum Rheostat von Siemens und Halske, jeden verlangten Widerstand so genau herstellen, wie die mechanische Vollkommenheit der Vorrichtung es gestattet; gröfsere Veränderungen jedoch kann man, wie an diesem Rheostat, auch nur in Sprüngen bewirken. Darin steht unser Rheochord dem gröfseren Pflüger'schen nach. Dies enthält vier Paar Drähte, entsprechend unseren Platindrähten, deren jedes einen federnden Schieber besitzt. Man kann also dort, wenn die Länge eines oder mehrerer Drahtpaare nicht ausreicht, den Widerstand um ein beliebiges Stück des nächsten Paares erhöhen, und so denselben stetig von Null bis zur äufsersten Grenze steigern. Will man dagegen an unserem Rheochord den Widerstand über ein Vielfaches des Widerstandes der Platindrähte hinaus um einen Bruchtheil dieses Widerstandes vermehren, so mufs

([1]) Der Widerstand meines Rheochords ist seitdem von Hrn. Dr. Joh. Ranke in meinem Laboratorium zu 1.03 Meilen Telegraphendraht, die Meile zu 64 Siemens'schen Widerstandseinheiten (Poggendorff's Annalen u. s. w. 1860. Bd. CX. S. 1), bestimmt worden (Ranke, Der galvanische Leitungs-Widerstand des lebenden Muskels. Ansbach 1862. S. 19). (Nachträgliche Anmerkung.)

man jedesmal erst wieder den Widerstand durch Zurückführen des Schlittens auf Null um eine Einheit vermindern, und aufserdem die passenden Veränderungen vornehmen, bei denen manchmal der Strom im Nervenkreise ganz aufhört. Bin ich z. B. beim Widerstand 5, zusammengesetzt aus den beiden Platindrähten (*Ia*), Neusilberdraht *Ib*, *Ic* und *II*, angelangt, und er reicht nicht aus, so mufs ich zuerst den Schlitten auf Null stellen und die drei Stöpsel *Ib*, *Ic* und *II* einsetzen, dann erst den Stöpsel *V* entfernen, und nun noch den Schlitten um die erforderliche Gröfse verschieben. Unstreitig ist dies an und für sich ein Mangel. Auch geht dabei Zeit verloren. Inzwischen hat sich beim Gebrauch noch kein ernstlicher Nachtheil als Folge hiervon herausgestellt, während unser Rheochord andererseits seine werthvollsten Eigenschaften gerade der Einrichtung verdankt, worauf jener Mangel beruht.

Sobald allein durch Verschiebung jeder beliebige Widerstand zwischen Null und der Gesammtlänge des Rheochords hergestellt werden soll, bleibt nichts übrig, als die Anordnung, bei der jene Gesammtlänge in eine Anzahl gleichlanger gerade ausgestreckter Drahtpaare abgetheilt wird, deren jedes seine verschiebbare Brücke hat, und damit steht man, wenn es sich um die feinere technische Ausführung handelt, vor einer Reihe von Schwierigkeiten. Die bewegliche Brücke macht für jedes Paar Drähte eine Schlittenbahn nebst Scale nöthig. Wählt man als Brücke federnde Schieber, so kann man Neusilberdraht anwenden, allein dann mufs der Draht stark genug sein um einige Zerrung und Abnützung auszuhalten, und das Instrument wird sehr umfangreich. Wählt man Quecksilberröhren, wie sie an unserem Rheochord als Brücke zwischen dem einen Paar Platindrähten angebracht sind, so ist man auf Eisen- oder Platindraht beschränkt. Jener rostet zu leicht, dieser ist kostspielig und wenig haltbar. Beide leiten im Vergleich mit dem Neusilber so gut, dafs, wenn man sie nicht übermäfsig fein nimmt, abermals der Umfang der Vorrichtung ein zu grofser wird. Der Preis wird fast in gleichem Verhältnifs mit der Zahl der beweglich überbrückten Drahtpaare wachsen u. s. w.

Diese Schwierigkeiten sind an unserem Rheochord dadurch umgangen, dafs, wie man an Mefsinstrumenten, Mikroskopen u. d. m. eine grobe und eine feine Einstellung hat, nur ein kleiner Theil des Nebenschliefsdrahtes

dazu bestimmt ist, eine feine Abstufung seiner Länge zu gestatten (¹). Auf diese kurze Strecke und deren Einrichtung hat alle Sorgfalt verwendet werden können, und hier war, als Substanz der Drähte, Platin an seinem Platze. Der bei weitem gröfste Theil des Nebenschliefsdrahtes dagegen durfte, da er keine andere Bedingung zu erfüllen hat als die einen grofsen Widerstand darzubieten, und im Inneren des Kastens vor jeder Zerrung geborgen werden kann, aus Neusilber und beliebig fein genommen werden, um so das Instrument zu verkleinern. Daher dasselbe bei gleicher Leistung handlicher, einfacher, wohlfeiler und dauerhafter nicht leicht möchte herzustellen sein, und der Gebrauch desselben aus den physiologischen Laboratorien sich sogar schon in die der Physiker auszubreiten beginnt.

Die Platindrähte erleiden von der glatten Mündung der Quecksilberröhren keinen Schaden. Nur ganz in der Nähe der Stege s, $s_,$ sind sie bedroht, weil sie hier am meisten gebraucht werden, und sich eine Abweichung der Axe der Quecksilberröhren von der Gleichgewichtslage der gespannten Drähte hier am meisten fühlbar macht. Vor Verletzungen sind die Platindrähte durch ein darüber angebrachtes Dach geschützt, welches gleichwohl den Schlitten zu verschieben und dessen Stellung abzulesen erlaubt. In Fig. 7 ist das Dach fortgelassen; man erkennt es aber in Fig. 7 *a* und *b*.

Die kleinen Schwankungen im Widerstande der Strecke $s_,Q$ in Folge verschiedenen Einsetzens der Stöpsel könnten beim Gebrauch des Rheochords zu physikalischen Zwecken vielleicht Bedenken erregen. Diesem Übelstande wird durch eine in einen Stöpsel auslaufende Doppelklemme abgeholfen. Indem man diese Stöpselklemme statt des ersten Stöpsels braucht, den man, vom Widerstande Null an gerechnet, sonst eingesteckt haben würde, erreicht man, dafs aufser ihr und den Quecksilberröhren in der benutzten Strecke des Rheochords keine anderen als feste Verbindungen vorkommen.

(¹) Ein ähnlicher Kunstgriff ist schon von Hrn. Wiedemann beschrieben worden. Poggendorff's Annalen u.s.w. 1856. Bd. XCIX. S. 226. Anm.

§. XIII. Von einem beim Gebrauch des Rheochords in Reizversuchen zu beachtenden Umstande.

Beim Gebrauch des Rheochords in Reizversuchen mufs man auf eine besondere Erscheinung vorbereitet sein, welche sonst leicht Täuschungen veranlassen kann.

Man denke sich in die Hauptleitung und in den Nervenkreis Schlüssel eingeschaltet, durch deren Schliefsung und Öffnung der Stromzweig im Nervenkreise hergestellt und unterbrochen werden kann. Nach den Ohm'schen Grundsätzen mufs es, um Zuckung zu erhalten, ganz gleichgültig sein, wo man die Kette schliefst und öffnet, in der Hauptleitung oder im Nervenkreise, da in beiden Fällen die beständige Stromstärke, die im Nervenkreise hergestellt und aufgehoben wird, dieselbe ist. Als ich vor mehreren Jahren den Versuch einmal anstellte, ward ich überrascht, diese scheinbar so unbestreitbare Folgerung keinesweges bestätigt zu finden. Vielmehr mufste ich, um z. B. beim Schliefsen und Öffnen des Nervenkreises Zuckung zu erhalten, der Nebenleitung eine viel gröfsere Länge geben, als beim Schliefsen und Öffnen der Hauptleitung. Mit anderen Worten, ich mufste, um gleiche Erregung des Nerven zu bewirken, mittels des Schlüssels im Nervenkreise in diesem Kreise eine viel gröfsere Stromstärke herstellen oder vernichten, als diejenige, deren Herstellung oder Vernichtung ausreichte, wenn ich mich des Schlüssels in der Hauptleitung bediente. Der Unterschied, um den es sich handelt, war ein sehr beträchtlicher. Als Nebenschliefsdraht benutzte ich eine Eisensaite von 0.8^{mm} Durchmesser und etwa 2^{m} Länge, als Kette eine Daniell'sche von mittlerer Gröfse. Schlofs und öffnete ich die Hauptleitung, so erfolgte Zuckung schon bei wenigen Centimetern Länge der Nebenleitung, während manchmal die ganze Länge des Nebenschliefsdrahtes nicht ausreichte, um beim Schliefsen und Öffnen des Nervenkreises Zuckung zu erlangen. Bei unmittelbarer Erregung der Muskeln zeigte sich derselbe Unterschied zwischen absolut höheren Grenzen.

Mein erster Gedanke war, dieser Unterschied läge an den Schlüsseln, aber theils indem ich die Schlüssel mit einander vertauschte, theils indem ich mittels einer geeigneten Schaltung einen und denselben Schlüssel abwechselnd in Nervenkreis und Hauptleitung brachte, überzeugte ich mich von dem Ungrunde dieser Vermuthung. Ebensowenig konnte die Erwär-

mung des Nebenschliefsdrahtes die Ursache des Unterschiedes sein, da diese vielmehr im entgegengesetzten Sinne wirkt. Wird die Hauptleitung vor dem Nervenkreise geschlossen, so ist der Nebenschliefsdraht wärmer und schlechter leitend, und folglich, wie die Rechnung lehrt, der Stromzweig im Nervenkreise stärker. Auch an Polarisation in der Kette war nicht zu denken, wodurch allerdings die Stromstärke bei geschlossener Hauptleitung vor dem Schliefsen des Nervenkreises vermindert worden wäre, denn die Erscheinung zeigte sich auch mit einer Grove'schen Kette im besten Zustande. Dagegen ergab es sich bei weiterer Überlegung, dafs es die Polarisation an den Platinblechen der anfänglich zur Erregung benutzten stromzuführenden Vorrichtung war, worauf jener Unterschied beruhte. In der That wird derselbe unmerklich, sobald man die Platinbleche durch unpolarisirbare Elektroden aus verquicktem Zink in Zinklösung ersetzt, ja er kehrt sich sogar zuweilen um, so dafs der Schlüssel im Nervenkreise etwas stärkere Erregung giebt, als der in der Hauptleitung. Bringt man aber in den Nervenkreis ein Platinelektrodenpaar in verdünnter Schwefelsäure, so ist der Unterschied wieder wie gewöhnlich da. Hiernach erklärt sich die Sache folgendermafsen.

Schliefst man die Hauptleitung nach dem Nervenkreise, so bricht in letzteren der Zweigstrom in seiner vollen, durch das Verhältnifs der Widerstände bedingten Gröfse ein. Öffnet man die Hauptleitung, so hört im Nervenkreise freilich nur der durch die Polarisation auf das Äufserste geschwächte Strom auf. Allein ihm folgt auf dem Fufse, da ihm die Bahn der Nebenleitung offen steht, der Polarisationsstrom im umgekehrten Sinne, dem im ersten Augenblicke ungefähr die Stärke des primären zukommt, und der also in hohem Grade befähigt ist Zuckung zu bewirken. Im Polarisationsstrome gleichen sich im Nu die Ladungen zum gröfsten Theile ab, so dafs, wenn man den Schlüssel in der Hauptleitung wieder schliefst, dasselbe Spiel von vorn beginnt.

Schliefst man dagegen den Nervenkreis nach der Hauptleitung, so wird das erste Mal freilich die Stromstärke die nämliche sein wie beim Schliefsen der Hauptleitung nach dem Nervenkreise. Weil aber beim Öffnen des Nervenkreises den sich alsbald entwickelnden Ladungen die Gelegenheit zur Abgleichung genommen wird, so bleibt erstens die Öffnung selbst vergleichsweise wirkungslos, zweitens wird auch für eine binnen nicht allzu-

langer Frist darauf folgende Schliefsung die Stromstärke nicht wieder hergestellt.

Dafs die Polarisation hier im Stande ist, einen so bedeutenden Unterschied zu bewirken, wird verständlich aus der grofsen absoluten Schwäche der Ströme, die bereits das Maximum der Zuckung herbeiführen, im Verein mit dem bekannten Gesetze, wonach die Polarisation mit Zeit und Stromstärke wächst. Es handelt sich also, damit Alles klar sei, nur noch um den Nachweis, dafs, bei vollkommener Gleichartigkeit der Platinelektroden, wirklich die Schliefsungszuckung vom Schlüssel im Nervenkreise aus bei derselben Länge der Nebenleitung auftrete, wie die vom Schlüssel in der Hauptleitung aus. Dieser Nachweis gelingt, wenn man die Beobachtung darauf richtet, denn auch leicht; weil aber vom Schlüssel im Nervenkreise aus nur eben die erste Schliefsungszuckung erfolgt und dann meistens keine wieder, so erhält man bei der ersten rohen Untersuchung den Eindruck jener ungeheuren Überlegenheit der Reizung vom Schlüssel in der Hauptleitung aus.

Es geht hieraus die Weisung hervor, wenn man es nicht vermeiden kann, sich bei Reizversuchen am Rheochord polarisirbarer Elektroden zu bedienen, erstens, die Schliefsung und Öffnung im Nervenkreise vorzunehmen, um nicht Täuschungen durch den Polarisationsstrom ausgesetzt zu sein, zweitens, unter keinen Umständen die Erscheinungen beim Schliefsen und Öffnen des Nervenkreises mit denen beim Schliefsen und Öffnen der Hauptleitung in Vergleich zu bringen.

§. XIV. Vom Schwankungsrheochord, einer Vorrichtung zum Erweise des allgemeinen Gesetzes der Nervenerregung durch den Strom.

Mit wie grofser Wahrscheinlichkeit das von mir sogenannte allgemeine Gesetz der Nervenerregung durch den Strom aus der Gesammtheit der Thatsachen hervorging, die ich in dem ersten Bande meiner „Untersuchungen" (1) dafür beibrachte, so hatte ich es doch an einem ganz unmittelbaren Beweise dafür fehlen lassen. In der That gebrach es mir zu jener Zeit an

(1) A. a. O. S. 262-272.

einem Mittel, um eine positive oder negative Stromschwankung von passender Gröfse und nach Willkür zu beherrschender Geschwindigkeit hervorzubringen. Zwar erschien mir schon damals die Ein- oder Ausschaltung von Widerständen nicht als das einzige verfügbare Mittel zur Veränderung der Stromstärke. Vielmehr übersah ich vollkommen, wie durch Verlängerung oder Verkürzung einer Nebenleitung sich die Stromstärke im Nervenkreise in ausreichende, und unter Umständen jenen Längenveränderungen proportionale Schwankungen versetzen lasse ([1]). Was mich aber verhinderte, diesem Gedanken Folge zu geben, war erstens, dafs ich mir auch sogleich vorsetzte, die Verlängerung der Nebenleitung mit gleichförmiger Geschwindigkeit zu bewirken, zum Zweck, eine lineare Stromschwankung und damit ein wichtiges Hülfsmittel zur Zergliederung des Erregungsvorganges zu gewinnen; zweitens, dafs mir ein Kunstgriff abging, um einen Draht an einem anderen sicher vor Trennung und doch mit hinreichender Geschwindigkeit zu verschieben, wozu ich Rollen, federnde Schieber u. d. m. nicht für ausreichend hielt. Ein solcher Kunstgriff scheint nunmehr durch Hrn. Neumann's bewegliche Quecksilberverbindung geboten zu sein, und wenn man von der gleichförmigen Geschwindigkeit der Verschiebung absieht, und nicht unvorhergesehene Hindernisse dazwischen treten, müfste es glücken, den damaligen Plan zu verwirklichen. Dies habe ich jetzt mit Hülfe folgender Vorrichtung versucht, die ich das Schwankungsrheochord nenne. Fig. 8. Taf. II. zeigt dieselbe, wie sie Hr. Sauerwald nach meiner Angabe gebaut hat, im Grundrifs und in halber natürlicher Gröfse, Fig. 8 *a* einen Theil davon im seitlichen Aufrifs und in $\frac{2}{3}$ der natürlichen Gröfse.

Ein eichenes Grundbrett trägt zwei messingene Winkelstücke *O* und *U*, zwischen denen als Nebenschliefsdraht eine 0.2^{mm} dicke Eisensaite *ns* ausgespannt ist.

Daran verschiebt sich das stählerne Quecksilberrohr *QR*, dessen Deckel *R* abzuschrauben geht. Die Öffnungen für den Nebenschliefsdraht an beiden Enden des Rohres sind mit Kork gefüttert. Um das Rohr zu füllen, wird das Grundbrett aufgerichtet, so dafs das Ende *Q* des Quecksilberrohres nach unten sieht. Es wird soviel Quecksilber eingefüllt, dafs

---

([1]) A. a. O. S. 272. 273. Anm.

es beim Aufschrauben des Deckels *R* aus den capillaren Öffnungen spritzt. Da beim Gebrauch Quecksilber verloren geht, mufs von Zeit zu Zeit welches nachgefüllt werden.

Das Quecksilberrohr gleitet auf einem Schlitten zweien stählernen Führungsdrähten *fd*, *f,d,* entlang, die jederseits vom Nebenschliefsdraht und ihm parallel zwischen den Winkelstücken ausgespannt sind. An der unteren Fläche des Schlittens ist isolirt ein doppelter Sperrhaken angebracht, dem von jedem der Winkelstücke aus ein ähnlicher federnder Haken begegnet. Letzterer greift, wie Fig. 8 *a* zeigt, in den entsprechenden Haken am Schlitten ein, bei der Stellung, wobei die Kuppe des Quecksilberrohres gerade das Winkelstück berührt, und verhindert alsdann den Schlitten, sich vom Winkelstücke zu entfernen. An jedem Winkelstücke kann mittels eines Stechers σ, $\sigma_,$ der federnde Haken niedergedrückt, und dadurch der Schlitten freigegeben werden.

Die Bewegung des Schlittens zum Zweck der Stromschwankung erfolgt stets in der Richtung des Pfeiles von *O*, dem oberen, zu *U*, dem unteren Winkelstück, oder, wie wir jetzt sagen wollen, Anschlag. Sie kommt zu Stande durch die Zusammenziehung des vorher ausgedehnten Kautschukschlauches *KS*, der durch eine um zwei Rollen laufende Darmsaite am Schlitten zieht. Die Elasticität ist der Schwere als Triebkraft vorgezogen worden, weil es auf die absolute Beständigkeit, welche die Schwere auszeichnet, hier nicht so sehr ankam, während, um durch die Schwere eine solche Geschwindigkeit zu erzeugen, wie sie hier gebraucht wird, die Vorrichtung zu umfangreich hätte werden müssen. Auch die Führung der Darmsaite um die Rollen hat zum Zweck, den Umfang der Vorrichtung, der selbst beim Gebrauch der Federkraft zu grofs zu werden drohte, zu vermindern.

Das Ende *S* des Schlauches kann mittels einer starken, in einem Schlitze des Grundbrettes verschiebbaren Schraube in passender Entfernung vom oberen Anschlage, der Bahn des Zuges entlang gemessen, festgestellt werden. Die Spannung des Schlauches wird bewirkt, indem man den Schlitten nach dem oberen Anschlag führt, wo er durch den entsprechenden Haken festgehalten wird. Drückt man auf den Stecher, so fliegt der Schlitten die Bahn des Nebenschliefsdrahtes und der Führungsdrähte hinab, je nach der Spannung des Schlauches mit gröfserer oder geringerer Ge-

schwindigkeit. Überschreitet diese eine gewisse Grenze, so wird der Schlitten vom Haken am unteren Anschlage eingefangen, so dafs er dem Anschlage gleich fest anliegt. Jene Grenze wird beiläufig schon erreicht, wenn auch der Schlauch ziemlich früh aufhört dem Schlitten Geschwindigkeit mitzutheilen, so dafs die übrige Bahn nur kraft der Trägheit durchlaufen wird. Die Verschiebung des Schlittens von Anschlag zu Anschlag beträgt 300^{mm}. Der Ring *rr*, in welchem der Kautschukschlauch lose spielt, dient dazu, das Schleudern des freien Endes des Schlauches während seiner Zusammenziehung zu verhindern. Der Schlitten ist durch einen sehr dünnen besponnenen Kupferdraht, wie er zu thierisch-elektrischen Multiplicatoren dient, mit einer festen Klemmschraube auf dem Grundbrett leitend verbunden, worunter seine Beweglichkeit gar nicht leidet (vergl. oben S. 105 Anm.). Endlich an jedem der Anschläge ist zu einem gleich zu erwähnenden Zweck ein starker Kupferbolzen *b*, *b*, angelöthet.

Fig. 8 *b* ist bestimmt, den Stromlauf in den Versuchen mit dem Schwankungsrheochord, und zwar zunächst in dem Falle zu versinnlichen, wo positive Schwankung stattfinden soll. *SR* ist schematisirt dies Rheochord, *HR* dagegen ein gewöhnliches Rheochord, welches hier das Hülfsrheochord genannt wird, *KR* ein zweites solches Rheochord, das Kettenrheochord. Die Kette (einen Grove) und das Nervmuskelpräparat erkennt man leicht. Letzteres ist in dem feuchten Raume des Pflüger'schen Myographions aufgestellt, wo ihm der Strom durch ein Paar meiner unpolarisirbaren Zuleitungsröhren mit Thonspitzen zugeführt wird. Im Nervenkreis hat man sich noch einen Stromwender eingeschaltet zu denken. Die eine Klemme des Hülfsrheochords *α* ist mit dem Bolzen *b*, am oberen Anschlag verbunden. Steht der Schieber Σ des Hülfsrheochords auf Null, und der Schlitten am oberen Anschlage, so verschwindet die Stromdichte im Nerven, da die Nebenleitung nur ver-

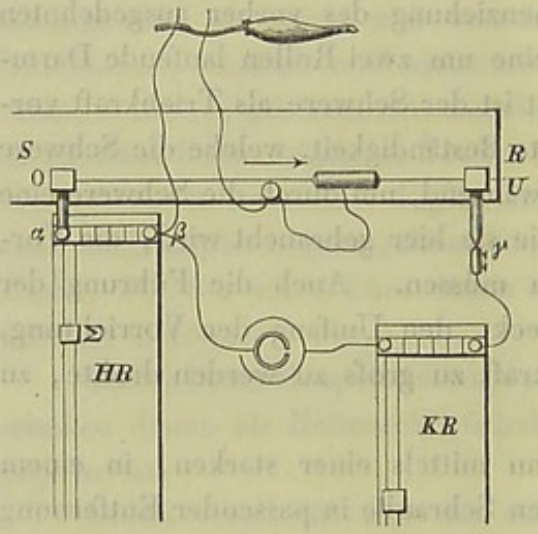


Fig. 8 *b*.

schwindende Widerstände, den oberen Anschlag in Berührung mit dem Quecksilberrohr, den Kupferbolzen, die durch den Schieber und die Stöpsel verbundene Reihe der Messingklötze des Hülfsrheochords bis zu dessen zweiter Klemme β, enthält. Wird also jetzt der Schlitten in der Richtung des Pfeiles losgelassen, so erfolgt eine von Null anhebende positive Stromschwankung, nach welcher der Strom im Nervenkreise die Stärke behält, die durch den Widerstand des Nebenschliefsdrahtes bedingt ist. Von dem Schliefsen einer Kette, wodurch dieselbe Stromdichte im Nerven erzeugt würde, unterscheidet sich der Vorgang nur durch die gröfsere Langsamkeit, mit der jener Grenzwerth erreicht wird, und das abweichende, hier durch die Geschwindigkeit des Schlittens an den verschiedenen Punkten seiner Bahn bedingte Gesetz, wonach das Ansteigen des Stromes erfolgt. Es handelt sich also, damit unser Plan verwirklicht sei, noch darum, dafs die Stromschwankung nicht von Null, sondern von einer beliebigen bereits im Nerven vorhandenen Stromdichte ausgehe. Dies geschieht einfach dadurch, dafs der Widerstand des Hülfsrheochords entfaltet wird.

Um statt einer positiven eine negative Stromschwankung zu erhalten, ist nichts nöthig, als die beiden Verbindungen α und γ mit einander zu vertauschen. Der obere Anschlag wird durch das Kettenrheochord mit der Kette, der untere durch seinen Kupferbolzen b mit der Klemme α des Hülfsrheochords verbunden. Steht der Schieber des Hülfsrheochords auf Null, so hebt jetzt die Schwankung bei der Stromstärke an, die dem Widerstande des Nebenschliefsdrahtes entspricht, und diese Stromstärke wird durch die Schwankung auf Null gebracht. Die negative Schwankung ist in diesem Falle der Öffnung einer Kette zu vergleichen, die in dem Nerven die gleiche Stromdichte unterhielte, nur dafs die Dichte langsamer und nach einem anderen Gesetze sinkt. Entfaltet man aber den Widerstand des Hülfsrheochords, so läfst die negative Schwankung eine immer gröfsere Stromdichte im Nerven bestehen, sie beträgt von der gesammten Stromdichte einen immer kleineren Bruchtheil.

Man kann also dergestalt eine Stromschwankung von verschiedener Geschwindigkeit zwischen denselben Grenzen, und indem man, was leicht zu machen ist, die Entfernung der Anschläge verändert, auch zwischen verschiedenen Grenzen hervorbringen. Aber es bietet sich uns hier zugleich die Gelegenheit zur Behandlung noch einer Aufgabe dar, die ich gleichfalls

damals gestellt, aber nicht zu lösen gewufst hatte, der nämlich zu bestimmen, welchen Einflufs auf die Gröfse der durch eine gegebene Stromschwankung bewirkten Erregung die absolute Höhe der Ordinaten übt, zwischen denen die Schwankung stattfindet; oder mit anderen Worten, ob die Gröfse der Erregung, welche durch eine Veränderung der Stromdichte bewirkt wird, auch noch Function dieser Stromdichte selbst ist, und wenn sie davon abhängt, ob sie mit wachsender Stromdichte steigt oder fällt. Ich begnügte mich zur Zeit damit, die Frage dergestalt in's Licht zu stellen, die verschiedenen sich darbietenden Möglichkeiten zu erwägen und die Unzulänglichkeit der bereits vorhandenen, darauf bezüglichen Versuche darzuthun ([1]).

Diese Frage ist seitdem von Hrn. Eckhard und von Hrn. Pflüger bearbeitet worden. Hr. Eckhard hat den guten Gedanken gehabt, die congruente Stromschwankung bei verschiedener bereits im Nerven herrschender Stromdichte dadurch zu erzeugen, dafs er die Nebenrolle einer Inductionsvorrichtung in den Kreis aufnahm ([2]). Da ich aber damals noch nicht die Aufmerksamkeit der Elektrophysiologen auf das Rheochord gelenkt hatte, so fehlte ihm ein einfaches Mittel, die beständige Stromdichte im Nerven abzustufen, ohne den Widerstand des Kreises merklich zu verändern. Er half sich indem er die Hälfte der Säulenglieder in umgekehrter Richtung in den Kreis brachte, und gelangte so zu dem an und für sich wichtigen Ergebnifs, dafs bei gröfserer absoluter Höhe der Ordinaten die nämliche Stromschwankung weniger stark erregt.

Hr. Pflüger, der mit dem Rheochord ausgerüstet den Gegenstand aufnahm, änderte Hrn. Eckhard's Versuchsweise, dem er bei dieser Gelegenheit ([3]), wie mir scheint, nicht volle Gerechtigkeit widerfahren läfst, dahin ab, dafs er die Nebenrolle der Inductionsvorrichtung in den Nervenkreis des Rheochords brachte. Es gelang ihm nachzuweisen, dafs die Erregung durch eine sich gleichbleibende Stromschwankung in Bezug auf die absolute Stromdichte ein Maximum hat. Wählt man eine solche Stromschwankung, dafs sie bei der Stromdichte Null im Nerven keine Zuckung bewirkt, so erhält man Zuckung durch dieselbe Stromschwankung, wenn

---

([1]) Untersuchungen u. s. w. Bd. I. 1848. S. 293 ff.

([2]) Beiträge zur Anatomie und Physiologie. Giefsen 1858. 4. S. 28.

([3]) Untersuchungen über die Physiologie des Electrotonus. Berlin 1859. S. 24. 394.

die Stromdichte eine gewisse Gröfse erreicht; bei gröfserer Stromdichte verschwindet wieder die Zuckung.

Dies Ergebnifs erklärt Hr. Pflüger daraus, dafs der Indifferenzpunkt, der nach seiner grofsen Entdeckung die intrapolare Strecke in eine Strecke erhöhter und eine solche herabgesetzter Erregbarkeit scheidet, mit wachsender Stromdichte von der Anode zur Kathode wandert, so dafs fast die ganze intrapolare Strecke sich bei geringer Stromdichte im Zustande erhöhter, bei grofser in dem herabgesetzter Erregbarkeit befindet. Die totale Erregbarkeit der intrapolaren Strecke, d. h. nach Hrn. Pflüger der Integralwerth der Erregbarkeiten sämmtlicher Längendifferentiale derselben, hat somit ein Maximum in Bezug auf die Stromdichte, welchem ein Maximum der Erregung entspricht (¹).

Unstreitig reicht diese Erklärung aus; man kann jedoch bezweifeln, dafs damit die Erscheinung erschöpfend zergliedert sei. Die Erregung, für die uns die Zuckung ein ungefähres Mafs abgiebt, ist um so gröfser, je gröfser die Erregbarkeit und je gröfser der Reiz. Ich hatte mir, als ich die obige Frage stellte, den ersteren Factor als beständig gedacht. Wir wissen jetzt durch Hrn. Pflüger, dafs er in der beschriebenen Art Function der Stromdichte ist. Er erweist sich als solcher auch bei Anwendung von Reizen, die, wie der der Kochsalzlösung, unabhängig von der Stromdichte sind. Es liegt also noch immer die Möglichkeit vor, dafs, wenn man mit einer congruenten Stromschwankung bei verschiedener Stromdichte reizt, sich, aufser der Erregbarkeit, auch noch der Reiz, oder die Anregung zur Bewegung, die in dem Übergang von der einen Stromdichte zur anderen in gegebener Zeit liegt, nach irgend einem Gesetze ändere. Der Erfolg könnte dabei der beobachtete sein, wenn nur die Veränderung des Reizes nicht im umgekehrten Sinne von der der Erregbarkeit stattfände und überdies gewisse Grenzen überschritte. Hrn. Pflüger's unschätzbare Versuche scheinen freilich experimentell die von mir gestellte Frage zu erledigen. Weit entfernt indefs dieselbe beantwortet zu haben, zeigen diese Versuche meiner Meinung nach vielmehr, dafs die Frage so nicht zu beantworten sei, weil der andere Factor der Erregung, die Erregbarkeit, bei wachsender Stromdichte nicht beständig bleibe. Um jetzt auch noch die Abhängigkeit des Reizes von der

(¹) A. a. O. S. 397.

Stromdichte auszumitteln, müfste man untersuchen, ob z. B. die Erhöhung der Erregbarkeit, die man bei einer gewissen Stromdichte beobachtet, für den elektrischen Reiz ebenso grofs ausfalle, wie für Reize, die der Natur der Dinge nach von der Stromdichte unabhängig sind, also für den mechanischen oder chemischen Reiz. Gelänge es nachzuweisen, dafs für eine positive Schwankung, während welcher die totale Erregbarkeit noch gesteigert würde, eine geringere scheinbare Erhöhung der Erregbarkeit stattfände, als für den mechanischen oder chemischen Reiz, so wäre der Schlufs gerechtfertigt, dafs durch die congruente Stromschwankung zwischen höheren Ordinaten eine geringere Anregung zur Bewegung gesetzt sei, als durch die zwischen niederen. Ich begnüge mich damit, den allgemeinen Plan der hier noch offenen Untersuchung anzudeuten, deren Ausführbarkeit ich übrigens dahingestellt sein lasse.

Am wenigsten machen die folgenden Versuche mit dem Schwankungsrheochord Anspruch darauf, diese Angelegenheit zu fördern. Es hat zwar, wie bemerkt, keine Schwierigkeit, ihnen eine Gestalt zu geben, wobei sie so gut, ja in gewisser Beziehung besser als die Pflüger'schen Versuche, zur Beantwortung der Frage nach dem Einflufs der Stromdichte auf die Erregung durch congruente Stromschwankungen geeignet scheinen. Dazu ist nur nöthig, dafs die Schwankung bei verschiedener Höhe der Ordinaten, zwischen welchen sie stattfindet, dieselbe absolute Gröfse behalte; was dann zutrifft, wenn der Widerstand der Nebenleitung, d. h. des Nebenschliefsdrahtes und des Hülfsrheochords, verschwindet gegen den der beiden anderen Leitungen: des Nervenkreises, was von selbst der Fall sein wird, und des Kettenkreises, was mit Hülfe des Kettenrheochords, nöthigenfalls noch anderer Widerstände, auch stets leicht zu bewirken sein wird. Der Vorzug unserer Versuchsweise vor der durch Hrn. Pflüger vervollkommneten Eckhard'schen könnte aber darin erblickt werden, dafs, während es sich dort stets um eine positive und eine negative Schwankung zugleich handelt, wir im Stande sind, nach Belieben nur eine positive, oder nur eine negative Schwankung zu erzeugen, von denen die erstere die Stromdichte erhöht, die letztere sie erniedrigt zurückläfst; was ein Hülfsmittel mehr zur Zergliederung der Erscheinungen abgiebt.

Inzwischen hat das Schwankungsrheochord die Hoffnungen, die ich darauf setzte, bisher nicht erfüllt. Die Versuche daran sind von eigen-

thümlichen Schwierigkeiten umgeben, die zu überwinden mir erst zum Theil gelungen ist.

Es zeigt sich nämlich der unerwartete Umstand, dafs sehr leicht Zuckungen entstehen, wenn bei geschlossener Kette der Schlitten irgendwo am Nebenschliefsdraht steht und plötzlich mit den Führungsdrähten in schwingende Erschütterung versetzt wird. Durch diese Erschütterungszuckungen, wie wir sie nennen wollen, verlieren solche Zuckungen, die man etwa bei schneller Verschiebung des Schlittens zu sehen bekäme, vorläufig jede Bedeutung, und unsere Sorge mufs vor Allem dahin gehen, den Erschütterungszuckungen ein Ende zu machen.

Offenbar können diese in nichts ihren Grund haben, als in einer raschen Veränderung des Widerstandes zwischen dem Quecksilber einerseits, andererseits dem Nebenschliefsdraht und der Wand des Quecksilberrohres; obschon dies dabei von Quecksilber strotzen kann, und obschon man glauben sollte, jener Widerstand, mithin auch dessen Schwankungen, müfsten vor dem des Nervenkreises verschwinden. Auch weifs ich nicht mit Bestimmtheit zu sagen, wie diese Schwankungen zu Stande kommen. Ich kann nur daran erinnern, dafs Hr. Siemens zwischen eisernen Cylindern, die er in Quecksilber tauchte, und letzterem, einen sehr grofsen Widerstand gefunden hat, der wahrscheinlich auf einer an der Oberfläche der festen Metalle condensirten Gasschicht beruhte, da er besonders stark war, wenn die Cylinder nach der Reinigung noch einige Zeit an der Luft gelegen hatten ([1]); und ich stelle mir vor, dafs in unserem Falle eine ähnliche, Eisen und Quecksilber von einander trennende Gasschicht im Augenblick der Erschütterung sehr schnell durchbrochen wird und wieder zusammenfliefst.

Wie dem auch sei, ein sicheres Mittel, die Erschütterungszuckungen zu beseitigen, wäre gewesen, den Widerstand des Nervenkreises so lange zu erhöhen, bis der Widerstand, auf dessen Schwankung sie beruhen, wirklich dagegen verschwände. Leider mufste alsdann, bei der Kürze des Nebenschliefsdrahtes, um noch hinlängliche Stromdichte im Nerven zu erhalten, in jenem Draht eine solche Stromstärke hergestellt werden, dafs er fast erglühte. Es schien mir beiläufig, als ob die Erwärmung des Drahtes an und

([1]) Poggendorff's Annalen u. s. w. 1860. Bd. CX. S. 11. Anm.

für sich eine Verminderung der Erschütterungszuckungen zur Folge hatte. Die Berührungsfläche von Draht und Quecksilber schien danach der vorzüglichste Sitz des störenden Vorganges zu sein. Ich versuchte deshalb, den Draht vor den Versuchen mit feinem Schmirgelpapier zu poliren, und in der That fand sich, dafs danach die Erschütterungszuckungen fast ganz verschwanden. Auch stellten sie sich stets erst oberhalb einer gewissen Stärke des Kettenstromes ein, so dafs Entfaltung des Kettenrheochords gleichfalls ein Mittel abgab sich ihrer zu entledigen. Bei alledem sind sie es vorzüglich gewesen, die mich verhindert haben, die Versuche am Schwankungsrheochord ihrem Ziel zuzuführen. Sie mochten nämlich in einer bestimmten Versuchsreihe noch so sicher beseitigt scheinen, so tauchten sie aus unbekanntem Grunde plötzlich wieder auf, verhinderten die Fortsetzung der Versuche, und verdächtigten das schon Beobachtete.

Ich habe es deshalb nicht weiter gebracht als bis zu folgenden Ergebnissen. Sowohl bei auf- als bei absteigendem Strome erhält man Zuckung sowohl durch positive als durch negative Schwankung bei geeigneter Stromstärke und Geschwindigkeit des Schlittens. Diese letztere mufs sehr bedeutend sein. Bei allmählich gesteigerter Spannung des Schlauches tritt die Zuckung plötzlich ein, und es hält sehr schwer, eine Abstufung ihrer Stärke durch Veränderung der Geschwindigkeit herbeizuführen. Am sichersten erfolgt die Zuckung durch positive Schwankung, wenn man diese von Null ausgehen läfst, durch negative Schwankung, wenn der Strom dadurch auf Null zurückgeführt wird. Sehr selten ist es mir geglückt, eine Verstärkung der Zuckung dadurch zu bewirken, dafs ich den Schieber des Hülfsrheochords um wenige Centimeter von seinem Anschlag entfernte. Dagegen gelingt es ausnahmslos, durch weitere Entfaltung des Hülfsrheochords die Zuckung zu schwächen oder zum Verschwinden zu bringen; ein Ergebnifs, zu dem ich in der That auch schon im Jahre 1857, vor dem Erscheinen von Hrn. Eckhard's Versuchen, selbständig gelangt war.

Ein Grund für mich, diese Versuche aufzugeben, ist endlich daraus erwachsen, dafs ein jüngerer Forscher, Hr. Jul. Bernstein, in meinem Laboratorium begonnen hat, sich der Lösung der Aufgabe zu widmen, an die oben erinnert wurde, eine lineare Stromschwankung herzustellen ([1]).

([1]) Eine vorläufige Anzeige seiner Untersuchung ist seitdem erschienen im Archiv für Anatomie, Physiologie u. s. w. 1862. S. 531. (Nachtr. Anm.)

Hr. Rosenthal hat mich darauf aufmerksam gemacht, dafs das von Hrn. Helmholtz entwickelte Gesetz, wonach der galvanische Strom in einem Kreise ansteigt, der eine Inductionsrolle enthält (1), ebenfalls benutzt werden könnte, um den Einflufs zu ermitteln, den die verschiedene Steilheit der Ansteigungscurve auf die Erregung übt.

§. XV. Vom Zuckungstelegraphen.

Wer über allgemeine Physik der Nerven und Muskeln vor einer gröfseren Versammlung vorgetragen hat, weifs, dafs es nicht minder schwer hält, Zuckungen eines Gastroknemius auf einige Entfernung hin sichtbar zu machen, als Ausschläge der Multiplicatornadel. Vom Unterscheiden starker und schwacher Zuckungen seitens der Zuhörer ist vollends keine Rede. Aus dem Drange, diesem Mangel abzuhelfen, entstand während der Vorträge, die ich im Frühjahr 1855 in der *Royal Institution* hielt, die nachstehend beschriebene, Taf. I. Fig. 9 im seitlichen Aufrifs und in halber natürlicher Gröfse dargestellte, sehr einfache aber nützliche Vorrichtung, die ich den Zuckungstelegraphen nenne und seitdem in dem betreffenden Theil meiner Vorlesungen fortwährend mit grofsem Vortheil angewendet habe. Diese Vorrichtung ist somit ursprünglich mehr für den Hörsal, als für das Laboratorium bestimmt, obschon sie auch hier vortreffliche Dienste leistet.

Das Präparat, worauf die Vorrichtung berechnet ist, ist das in neuerer Zeit so vielfach benutzte, welches aus dem im Hüftgelenk abgelösten Oberschenkelbein und dem *M. gastrocnemius*, je nachdem mittelbar oder unmittelbar gereizt werden soll, mit oder ohne Ischiadnerv, besteht (2).

---

(1) Poggendorff's Annalen u. s. w. 1851. Bd. LXXXIII. S. 510. 511.

(2) Folgendermafsen gewinnt man dies Präparat am schnellsten. Zuerst legt man den Nerven von der Kniekehle aus frei (vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 255) und schlägt ihn über den Gastroknemius zurück. Dann ergreift man den Oberschenkel und durchschneidet mit der Scheere die Oberschenkelmuskeln dicht über dem Kniegelenk quer bis auf den Knochen, fafst nun das Präparat an der Fufswurzel, schabt mit dem Messer das Femur nach aufwärts rein, und löst es aus der Pfanne. Jetzt erst trennt man die Achillessehne unterhalb des Sesamknorpels, schlägt den Gastroknemius, mit dem darauf feucht gebetteten Ischiadnerven, nach oben zurück, und schneidet die Tibia dicht unter dem Kniegelenk ab. Zuletzt legt man die Achillessehne mit ihrer vorderen Fläche auf die Tischplatte und bringt mit einem spitzen Scalpell darin einen Längsschlitz an.

Das Oberschenkelbein dieses Präparates wird von einer Messingzange gefafst, die an einer senkrechten Säule verstellbar ist. Die Zange ist um die Verlängerung des sie tragenden wagerechten Armes als Axe drehbar, damit, nachdem der Knochen aufs Gerathewohl eingespannt worden, die Insertion des *N. tibialis* bequem der Seite zugekehrt werden könne, wo man, aus sonst welchen Gründen, die stromzuführende Vorrichtung angebracht hat. Um die Zange in dieser Lage festzustellen, dient die Schraube *s*.

Der die Zange tragenden Säule gegenüber steht die andere Hälfte der Vorrichtung, die Fahne genannt, auf einem Schlitten σ, $\sigma_{,}$, der zwischen zwei Leisten läuft, von denen die Figur zwischen l, $l_{,}$ die eine zeigt; die Schraube $s_{,}$ stellt den Schlitten fest.

An der Säule auf dem Schlitten schiebt sich ein Axenlager auf und ab, in dessen Kernlöchern eine Rolle mit stählernen Spitzen spielt. Die Rolle hat, nach Art des Wirtels einer Drehbank, zwei Hohlkehlen, die eine von 7.5^{mm}, die andere von 15^{mm} Halbmesser, die erstere bestimmt für unser gegenwärtiges Präparat, die letztere für einen anderen, unten zu bezeichnenden Fall. In der gerade benutzten Holzkehle ist ein Faden um die Rolle geschlungen. Damit er nicht gleite, wird er an ein Messinghäkchen geknüpft, das sich dazu in jeder Hohlkehle befindet. An das eine Ende des Fadens ist ein Haken geknüpft, der durch den Schlitz in der Achillessehne gesteckt wird, und auf den wir sogleich noch zurückkommen werden. Das andere Ende trägt einen aus Messingblech gepresten Eimer mit Schrot. An der Rolle ist ein Zeiger befestigt, der eine runde, an der Rückseite roth oder blau angestrichene Glimmerscheibe von 43^{mm} Durchmesser trägt. Dies ist die Fahne. Sie spielt vor einem gleich breiten Quadranten von weifs lakirtem Blech, so dafs man nicht allein ihre Bewegungen gegen den hellen Grund leichter sehen, sondern auch ihre Stellung in der Ruhe erkennen kann. Die Bewegungen der Fahne sind durch zwei Anschläge a, $a_{,}$ beschränkt. Unter dem Zuge des Schroteimers liegt sie gegen den Anschlag a, wie es die Figur zeigt, wagerecht, unter dem Zuge des Muskels kann sie sich bis zur Senkrechten erheben und trifft alsdann den Anschlag $a_{,}$. Sobald man dem Faden, durch passende Entfernung der Fahne von der Zange, eine solche Spannung giebt, dafs die Fahne den Anschlag a, oder die wagerechte Lage, eben verläfst, wird jeder Zuckung des Muskels eine Hebung der Fahne entsprechen, die Zuckung weithin sichtbar machen, auch nach ihrer

Gröfse und Heftigkeit deren Stärke einigermafsen zu beurtheilen erlauben. Beim Tetanus stellt sich die Fahne unbeweglich senkrecht in die Höhe, beim allmähligen Nachlassen desselben sieht man sie ebenso allmählich herabsinken u. s. w.

Mit Vogeldunst gefüllt wiegt der Eimer 75^{grm}. Natürlich steht nichts seiner Vergröfserung entgegen. Indem man ihn nur zum Theil anfüllt, oder ihn ganz fortläfst und auch das Moment der Fahne noch durch das Laufgewicht λ aufhebt, kann man die zur Hebung der Fahne nöthige Leistung des Muskels beliebig verkleinern. Doch ist zu bemerken, dafs dies eine durch die wagerechte Stellung des Muskels gebotene Grenze hat, nämlich da, wo das statische Moment der Fahne nicht mehr ausreicht, um Faden und Muskel wagerecht ausgespannt zu erhalten. In dieser Rücksicht wäre es vielleicht vortheilhafter den Muskel senkrecht und die Fahne unter ihm an einem und demselben Stativ aufzustellen. Zu manchen Versuchen ist es auch zweckmäfsig, die Zange und Fahne auf getrennten Gestellen, ähnlich dem allgemeinen Träger ([1]), zu haben.

Soll der Muskel unmittelbar gereizt werden, so wird der eine Draht in die Klemme $s_{,,}$ an der Zange befestigt, und so der Strom durch die Zange selber dem Oberschenkelbein mitgetheilt. Um den anderen Draht mit der Achillessehne zu verbinden, dient der in der Figur in natürlicher Gröfse, also im doppelten Mafsstabe des Übrigen, vorgestellte Haken. Es ist daran eine Platte und ein Gewinde angebracht, worauf eine Mutter sich wider die Platte schraubt. Zwischen Platte und Mutter wird ein feiner Multiplicatordraht (vergl. oben S. 105. Anm.) eingeklemmt. Dieser führt zunächst zur Schraubenklemme $s_{,,,}$, von der aus erst der Strom durch gewöhnlichen Draht fortgeleitet wird.

Mit dem Zuckungstelegraphen werden in meinen Vorlesungen alle elektrischen Reizversuche angestellt, und von den nicht elektrischen die mit mittelbarer Reizung. Ganz vorzüglich läfst sich z. B. daran der mechanische Tetanus nach Heidenhain darstellen (s. oben S. 100). Für die unmittelbare chemische oder kaustische Reizung bedarf es stärker vergröfsernder Mittel, und einer Anordnung, wobei der Querschnitt zugänglich bleibt. Hier tritt an die Stelle des Zuckungstelegraphen die in der folgenden Num-

---

([1]) Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 448. Taf. III. Fig. 19.

mer beschriebene Vorrichtung. Diese dient auch für die Zuckung durch Zerschneiden des Muskels. Um die Reizung durch sonstige mechanische Mifshandlung zu zeigen, bleibt nichts Anderes übrig, als frisch zugerichtete Froschmuskeln mit Secirnadel und Pincette unter den Zuhörern umhergehen zu lassen.

Es kann nicht meine Absicht sein, hier auf die Art näher einzugehen, wie verschiedene Wahrheiten der Elektrophysiologie mittels des Zuckungstelegraphen zur Anschauung zu bringen sind. Es genüge die Bemerkung, dafs man dazu häufig zweier solcher Vorrichtungen bedarf, von deren Fahnen, welche alsdann vortheilhaft zweierlei Farbe haben, die eine nach rechts, die andere nach links in die Höhe geht. So erweist man z. B. die gröfsere Erregbarkeit des Nerven im Vergleich zum Muskel bei gleicher Stromdichte nach Hrn. Rosenthal's Angabe ([1]), indem man den unmittelbar zu reizenden Muskel, dem der Strom des Schlitten-Magnetelektromotors mittels des eben beschriebenen Hakens zugeführt wird, etwa an einer rothen, den mittelbar zu reizenden, dessen Nerv dem ersten Muskel entlang gelegt ist, an einer blauen Fahne arbeiten läfst. Nähert man allmählich die Nebenrolle der Hauptrolle, so steht zuerst die blaue, und erst bei merklich kleinerem Abstand die rothe Fahne auf; beim Entfernen der Rolle sinkt diese in die wagerechte Lage zurück, während jene noch aufgerichtet bleibt.

Die Hohlkehle von grofsem Halbmesser am Wirtel der Fahne dient, um die Abhängigkeit des Hubes und der Kraft der Muskeln von ihrer Länge und Dicke zu veranschaulichen. Man läfst an dem darin befestigten Faden, bei unmittelbarer Erregung bis zum Maximum, abwechselnd einen langen und dünnen Muskel, den Sartorius oder den Rectus internus, und einen kurzen und dicken, den Gastroknemius, arbeiten. Es zeigt sich unter passenden Umständen, dafs jene Muskeln den leeren, oder nur wenige Schrotkörner enthaltenden Eimer so hoch heben, dafs die Fahne dabei senkrecht zu stehen kommt; während der Gastroknemius zwar leicht den vollen Eimer, sogar mit einer bedeutenden weiteren Belastung, aber auf eine so kleine Höhe hebt, dafs die Fahne nur eben zuckt.

([1]) Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. 1857. Bd. III. S. 185.

§. XVI. Von einer Vorrichtung zu Versuchen über chemische Reizung der Muskeln.

Die in Fig. 10. Taf. III. abgebildete Vorrichtung hat zum Zweck, die Versuche über unmittelbare chemische Reizung der Muskeln, in der Gestalt, welche Hr. W. Kühne ihnen ertheilt hat (¹), einer gröfseren Versammlung vorzuführen, und mag hier auch Erwähnung finden, obschon sie nicht der Elektrophysiologie angehört. Sie besteht aus drei Theilen, welche an einem messingenen Ständer senkrecht übereinander angebracht sind. Zu oberst bemerkt man, in einer Hülse am freien Ende eines wagerechten Messingarmes senkrecht verschiebbar, eine Stahlstange, welche unten in eine mit einem Klemmringe versehene Pincette ausläuft. Mittels der Pincette wird der Sartorius an seinem unteren Ende ergriffen und, sein oberes Ende nach unten, in passender Höhe aufgehängt. Die Flüssigkeit, deren Wirkung auf den am letzteren Ende angebrachten Querschnitt geprüft werden soll, wird in einem Porzellanschälchen auf die Glasplatte *gp* gesetzt, die dem Muskel von unten her schnell mittels der Hülse am Ständer, langsam mittels einer Mikrometerschraube genähert werden kann. Um die Zuckung sichtbar zu machen, dient ein von Hrn. Rosenthal ersonnener Kunstgriff. Quer durch den Muskel, in geringer Entfernung vom Querschnitt, wird ein 20-30^{cm} langer, vom einen Ende zum anderen verjüngter Glasfaden gestofsen, der bestimmt ist, fühlhebelartig die Zuckung zu vergröfsern. Ein dicht neben dem Muskel am Ständer befestigter gläserner Haken giebt den Drehpunkt des Hebels ab, indem der Glasfaden mittels eines Ringes, zu dem sein dickeres Ende gebogen ist, daran eingelenkt wird, eine Verbindungsart, wobei die Reibung sehr klein ausfällt. Die Bögen, die das entferntere, dünnere Ende des Glasfadens beschreibt, werden durch ein darüber gehängtes, der Leichtigkeit halber durchbrochenes Papierfähnchen sichtbar gemacht.

Wie bemerkt (s. oben S. 144), kann man sich dieser Vorrichtung auch für die kaustische Reizung bedienen; und beim Herstellen eines neuen Querschnittes erfolgt jedesmal eine ausgiebige Bewegung des Fähnchens.

(¹) Archiv für Anatomie, Physiologie u. s. w. 1859. S. 215.

§. XVII. Von der feuchten Reizungsröhre.

In allen Fällen, wo der Gastroknemius mittelbar gereizt werden und das Präparat lange leistungsfähig bleiben soll, ohne dafs man zugleich wünscht, mit dem Orte der Erregung am Nerven zu wechseln, und ohne dafs es auf die Polarisation ankommt, empfiehlt sich die in Fig. 11. Taf. II perspectivisch (1) dargestellte Vorrichtung, die ich die feuchte Reizungsröhre nenne. Damit das Präparat möglichst lange leistungsfähig bleibe, ist das Wesentliche, wenn nicht schädliche Einflüsse besonderer Art obwalten, bekanntlich nur, dafs der Nerv vor dem Vertrocknen geschützt sei. Der Muskel leidet wegen seiner im Vergleich zur Masse so sehr viel kleineren Oberfläche bei weitem weniger unter der Verdunstung, als der Nerv. Die Schwierigkeit, die es oft hat, eine Anordnung zu treffen, wobei der Nerv vor der Trocknifs geschützt sei, beruht in vielen Fällen darauf, dafs man auch den Muskel in den feuchten Raum aufnehmen will. Bei der feuchten Reizungsröhre ist dies aufgegeben, und nur der Nerv wird vor der Trocknifs geborgen.

Die Röhre ist etwa 60^{mm} lang, im Lichten 6^{mm} weit, an dem vorderen Ende aber in eine kurze Spitze von nur 1.5^{mm} Lichtung ausgezogen. Etwa in der Mitte ihrer Länge, doch der capillaren Spitze näher, hat sie eine mit einem Korke dauernd geschlossene Tubulatur. Hier sind innerhalb der Röhre, ihrer Wand anliegend, zwei ringförmige Platinelektroden von 5^{mm} Breite angebracht. Durch Drähte, die neben dem Kork zur Tubulatur hinausgehen, stehen sie in Verbindung mit Klemmen an der isolirenden Fassung der Röhre. Diese Fassung besteht aus einem abgestumpften Holzkegel, gegen dessen gröfsere Grundfläche die Röhre durch Drähte geschnürt ist. Die Drähte sind, um die Zeichnung nicht zu verwirren, darin fortgelassen. Die Fassung wird von einem wagerechten Arme mittels eines Kugelscharniers getragen, wenn die Reizungsröhre am Muskeltelegraphen gebraucht wird, an derselben Säule, wie die Zange. Von den Klemmen an der Fassung gehen die Drähte nicht sogleich weiter zu anderen Vorrichtungen, sondern um Zerrung zu vermeiden sind sie in gewohnter Art (vgl. S. 96) erst noch um einen Elfenbeinknopf an der Hülse des Armes gewickelt. Um die Rei-

(1) Der senkrechte Durchmesser der Grundfläche des Holzkegels hat natürliche Gröfse.

zungsröhre zum Gebrauch fertig zu machen, wird jetzt noch mittels einer Stopfnadel, die an Länge die Röhre übertrifft, ein langer Seidenfaden hindurch gezogen.

Nun wird die Röhre neben dem Gastroknemius so aufgestellt, dafs deren vordere engere Mündung in Einer Höhe mit der Eintrittsstelle des Nerven liegt, und dafs, wenn der sie tragende Arm um die Säule gedreht wird, jene Mündung auf diese Stelle trifft, während zugleich die Axe des Rohres mit der des Muskels einen nahezu rechten Winkel macht. Das Ende des Fadens, das zur engen Mündung heraushängt, wird an das centrale Ende des Nerven geknüpft. Mittels des zur hinteren Mündung heraushängenden Endes des Fadens wird der Nerv in die Röhre gezogen. Er kommt darin, gleich dem Faden, nothwendig innerhalb der Platinringe zu liegen, wie die Figur zeigt, und berührt, falls er nicht gespannt wird, deren innere Fläche. In dem Mafse, wie man den Nerven in die Röhre zieht, dreht man sie dem Muskel zu, so dafs, wenn der ganze Nerv in der Röhre steckt, die seine Insertion umschliefsende engere Mündung an den Muskel stöfst und sich in das Bindegewebe der Kniekehle eindrückt. Dadurch ist hier ein ausreichender Verschlufs gegeben, und wird die hintere weitere Mündung der Röhre mit einem Kork verschlossen, so ist der Nerv vor Trocknifs gesichert, da er ohne merklichen Verlust an Feuchtigkeit den nur etwa 1.5^{ccm} betragenden Raum der Röhre bei der gewöhnlichen Temperatur mit Wasserdampf sättigen kann. Demgemäfs erhält er sich in der Röhre stundenlang leistungsfähig. Soll der Versuch abgebrochen werden, so zieht man den Kork von der hinteren Mündung, dreht die Röhre von dem Muskel so weit fort, dafs ein hinreichend langes Stück des Fadens heraushängt, um es bequem wieder einem Nerven anzubinden, setzt den Kork wieder auf und schneidet den Faden ab. So ist die Vorrichtung gleich zu neuem Gebrauche fertig.

Die Vertrocknung, der der Muskel ausgesetzt bleibt, übt, wie es scheint, sobald keinen schädlichen Einflufs aus. Erst nach einer Stunde beginnt die Achillessehne, als der dünnste davon betroffene Theil, durchscheinend braun zu werden und, wie man an der in §. XIX beschriebenen Vorrichtung beobachtet, sich zu verkürzen.

Hr. Rosenthal hat der Reizungsröhre eine Gestalt gegeben, die zwar etwas weniger handlich, den Vortheil gewährt, dafs man mit der erregten

Strecke wechseln, auch mehrere Strecken gleichzeitig erregen kann. Sie besteht aus einem gestreckt parallelepipedischen Guttapercha-Kästchen, auf dessen Boden mehrere Elektrodenpaare angebracht sind, und dessen eine kurze Seitenwand dem Muskel zugekehrt wird. Durch einen Schlitz in dieser Wand wird der Nerv eingeführt, und innerhalb des zugedeckten Kästchens leicht vor Trocknifs geschützt.

§. XVIII. Vom Froschwecker, zum Gebrauch bei Versuchen an elektromotorischen Fischen.

Aus der Verbindung des Zuckungstelegraphen mit der feuchten Reizungsröhre entsteht der Froschwecker, dessen ich mich bei den Versuchen am Zitterwels bediene ([1]). Doch tritt dabei an die Stelle eines optischen Signals ein akustisches, indem der Gastroknemius, anstatt einer Fahne, einen Hammer hebt, der an eine Glocke schlägt (s. Fig. 12 *b*, S. 152). Die Klemmen der Reizungsröhre sind mit zwei Zinnplatten verbunden, die an einander gegenüber liegenden Punkten des Umfanges der Versuchswanne ([2]) versenkt werden. Von jedem Schlage, den der Fisch ertheilt, welches auch seine Stellung in der Wanne sei, geht bei dieser Anordnung erfahrungsmäfsig ein hinlänglicher Stromzweig durch den Nerven, um eine Maximalzuckung, oder nahezu eine solche, auszulösen. Man wird so bei jedem Versuch benachrichtigt, ob der Fisch wirklich geschlagen habe, worüber man keine Gewifsheit hat, wenn im Versuchskreise eine erwartete Wirkung ausbleibt, da man nicht weifs, ob man nicht dem Schlage etwas Unmögliches zugemuthet hat. Durch den Froschwecker erfährt man auch, dafs der Fisch nicht selten ohne äufsere Veranlassung schlägt, meist wenn er über seine Lage in der geringen Wassermasse der Versuchswanne unwillig, sich in heftigen Anstrengungen gegen deren Wand erschöpft.

Wenn der Fisch unermüdet oder heftig gereizt ist, trifft der Hammer häufig zweimal und öfter die Glocke. Daraus ist zu schliefsen, dafs der Fisch mehr als einmal geschlagen hat. Wie oft er aber in der That schlug, läfst sich nicht mit Sicherheit bestimmen. Das Ertönen der Glocke zeigt nur an, dafs die Zusammenziehung rasch eine gewisse Gröfse über-

---

([1]) Monatsberichte u. s. w. 28. Januar 1858. S. 95.

([2]) Eine flach cylindrische Wanne aus Gesundheitsgeschirr von 11″ Durchmesser und 5″ Tiefe, die so viel Wasser enthält, dafs der Rücken des Fisches eben blofs liegt.

schreitet und wieder darunter sinkt. Die Gestalt der Dichtigkeitscurve eines Stromes aber, der mehrere solcher Maxima von bestimmter Lage in der Zeit entsprechen, kann nach bekannten Grundsätzen eine sehr verschiedene, mit einer gröſseren oder geringeren Zahl von Maxima versehene sein. Bei den Versuchen, die ich am Zitterwels mit der im folgenden Paragraphen beschriebenen Vorrichtung anstellte, hat sich freilich ergeben, daſs die Zeitverhältnisse, die bei dem Schlage in's Spiel kommen, von einerlei Ordnung mit denen sind, welche den Verlauf der Zuckung beherrschen. Danach wird es wahrscheinlich, daſs mehreren schnell auf einander folgenden Maximalzuckungen ebensoviele Schläge entsprochen haben. Inzwischen geschieht es, daſs man bei subjectiver Prüfung mehr Maxima des Schlages verspürt, als man Glockenschläge am Froschwecker hört, auf dessen Treue in dieser Beziehung also kein Verlaſs ist.

Manchmal kommt es vor, daſs der Hammer zwar die Glocke trifft, aber nicht sobald wieder herabsinkt, sondern secundenlang daran klebt, wobei natürlich der Ton gedämpft ausfällt. Alsdann ist sichtlich der Nerv tetanisirt. Von den Umständen des Versuches wird es abhängen, ob man Grund hat, diesen Erfolg der Art zuzuschreiben, wie sich der Fisch entlud, oder darin eine abnorme Reactionsweise des Präparates auf einen einzelnen Schlag zn sehen, dem unter anderen Verhältnissen eine einfache Zuckung entsprochen hätte.

§. XIX. Vom Froschunterbrecher, zum Gebrauch bei denselben Versuchen.

Die erste Schwierigkeit, auf die man bei Untersuchung des Schlages der elektromotorischen Fische stöſst, nachdem man gelernt hat, denselben in annähernd gleicher Art in den Versuchskreis abzuleiten, besteht darin, daſs der Fisch, wie soeben gesagt wurde, auf jede Reizung mit einer unbestimmten Anzahl von Schlägen antwortet, wodurch die Wirkungen, die er jedesmal hervorbringt, unvergleichbar werden. Ich will beispielsweise erfahren, in welchem von beiden Fällen der Fischschlag durch einen in den Versuchskreis eingeführten Widerstand mehr geschwächt werde, ob bei gröſserem, oder bei kleinerem Abstand der Belegungen des dem Fisch aufgesetzten Deckels ([1]), welche Belegungen die Enden des Versuchskreises dar-

([1]) Vergl. Monatsberichte u. s. w. 28. Januar 1858. S. 97. 103. 104.

stellen. Die Beantwortung dieser Frage setzt vier Versuche voraus, bei denen die elektromotorische Thätigkeit des Fisches mufs für beständig gelten können, damit ein Schlufs aus deren Ergebnissen zulässig sei. Sonderbarerweise findet sich diese Schwierigkeit meines Wissens bei keinem früheren Beobachter erwähnt. Dagegen ist dieselbe Hrn. Eckhard, bei seinen in Triest am Zitterrochen angestellten Versuchen, fast zur nämlichen Zeit aufgestofsen, wo ich hier, im Herbste 1857, damit zu kämpfen begann. Hr. Eckhard hat sie dadurch umgangen, dafs er nicht am lebenden Thier, sondern an einem noch im Besitze der Lebenseigenschaften verharrenden Präparat experimentirte, an dem das Organ nur auf Reizung der elektromotorischen Nerven schlug (1). Da ich auf das lebende Thier angewiesen war, mufste ich mir anders zu helfen suchen. Es handelte sich darum, ein Mittel zu finden, um den Versuchskreis entweder nach erfolgtem ersten Schlage, oder noch während desselben, alsdann aber nach einer, wenigstens für mehrere auf einander folgende Versuche sich gleich bleibenden Frist, zu öffnen. Mit den gewöhnlichen mechanischen Organen war hier nichts auszurichten, denn durch welches Zwischenglied sollte das Aufsetzen des Deckels, welches nicht einmal genau mit dem Anfang des Schlages zusammenfällt, verknüpft werden mit dem Mechanismus, dem das Absperren des Entladungsvorganges in einem gewissen Augenblick anvertraut wäre. Um so näher lag es, hier an dasselbe Hülfsmittel zu denken, das sich im Froschwecker so gut bewährt hatte, an das Nervmuskelpräparat vom Frosch, welches durch einen verschwindenden Zweig des Fischschlages bis zum Maximum gereizt, in einem kleinen Bruchtheil der Secunde zu jeder hier erforderlichen Leistung bereit ist. Einige Vorversuche an einem selbstverfertigten Modell beruhigten mich über den Zweifel, ob nicht der Schlag doch zu flüchtig sei, um seiner dergestalt mittels der Zuckung Herr im Versuchskreise zu werden; und so entstand die Fig. 12. Taf. III. perspectivisch abgebildete Vorrichtung (2), die Hr. Sauerwald nach meiner Angabe ausführte.

---

(1) Beiträge zur Anatomie und Physiologie. Bd. I. Giefsen 1858. 4. S. 166. — (So konnte auch seitdem Hr. Armand Moreau bei seinen Versuchen am Zitterrochen verfahren. Comptes rendus etc. 16 Septembre 1861. t. LIII. p. 512; — Annales des Sciences naturelles 4e Série. Zoologie. 1862. t. XVIII. p. 16. [Nachträglicher Zusatz.])

(2) Die dem Beschauer nächste senkrechte Kante des Messingtischchens hat halbe natürliche Gröfse.

Auf einem viereckigen Fufsbrett, das auf einem Stift und zwei Stellschrauben ruht, tragen zwei Säulen aus Messing ein Tischchen aus demselben Metall empor, indem sie es an seinem hinteren Rande unterstützen. An seinem vorderen Rande sind auf einem Vorsprung von Kammmasse zwei doppelte Schraubenklemmen *k*, *k*, angebracht. Das Tischchen trägt zwei Axenlager, in denen sich ein Hebel aus Rothgufs *a a*, *h p q* zwischen stählernen Schraubenspitzen mit Gegenmuttern sehr leicht und sicher dreht.

In der Mitte des Hebels, bei *h*, sind oben und unten Haken, der obere für den Muskel, der untere für eine Wagschale, die durch eine Öffnung im Tischchen herabhängt. Darauf folgen am Hebel, nach dessen freiem Ende zu, zwei Schrauben, die ihn von oben nach unten durchbohren, und deren Einstellung gleichfalls durch Gegenmuttern gesichert ist. Die erste dieser Schrauben, *p*, läuft unten in einen Platinstift aus, der auf einer Platinplatte ruht, welche durch Kammmasse isolirt in dem Tisch befestigt, aber mit der Klemme *k*, leitend verbunden ist. Diese Platte heifst die Stützplatte. Die zweite, am Ende des Hebels gelegene Schraube *q* endet in eine verquickte Kupferspitze, die in ein cylindrisches Quecksilbergefäfs aus Eisen taucht, welches gleichfalls isolirt in dem Tisch befestigt, und mit der anderen Klemme *k* leitend verbunden ist. Die Quecksilberkuppe in dem Gefäfs kann gehoben und gesenkt werden, indem eine eiserne Schraube *s*, welche fast die ganze Lichtung des Gefäfses einnimmt, von unten hinein- und herausgeschraubt wird, wie dies Fig. 12 *a* zeigt, worin dieser Theil der Vorrichtung im senkrechten Durchschnitt und im $\frac{2}{3}$-Mafsstabe besonders dargestellt ist(¹).

In der Mitte der hinteren Wand des Tischchens erhebt sich, abermals isolirt, eine senkrechte Messingsäule, an der sich ein kurzer starker Arm auf und ab schiebt. Eine Nuth an der Säule, in die ein Stift an der den Arm tragenden Hülse eingreift, verhindert den Arm, sich zu drehen. An dem Arm befindet sich, durch eine Mikrometerschraube auf und ab stellbar, eine Zange zum Einspannen des Oberschenkelbeins, ähnlich der am Zuckungstelegraphen (s. oben S. 142). Die Achillessehne kommt beim Einspannen des gewöhnlichen Präparates in passender Höhe über dem Haken *h* zu schweben, und wird damit durch einen Fleischhaken und durch ein isolirendes Zwischenstück *h i* aus Schildpatt verknüpft.

(¹) Das Messing im Durchschnitt ist von rechts und oben nach links und unten, die Kammmasse ist umgekehrt und dichter schraffirt, das Eisen getüpfelt.

Der Schlag wird dem Nerven zugeführt durch eine feuchte Reizungsröhre. Diese wird an einem Kugelscharnier getragen durch einen Stiel, welcher an der Zange mittels der Schraube σ befestigt wird, so dafs sich die Röhre mit der Zange in einem Stück hebt und senkt, mit anderen Worten, dafs bei den Bewegungen der Zange zum Einstellen des Muskels die Mündung der Röhre am Muskel und der Nerv auf den Platinringen der Röhre unverrückt bleiben.

Für den Fall, dafs man den Muskel unmittelbar zu erregen wünschte, würde die Klemme bei σ statt des Stieles der Reizungsröhre den einen Draht aufnehmen, der andere müfste dünner Multiplicatordraht (s. oben S. 105 Anm.) und am Fleischhaken befestigt sein.

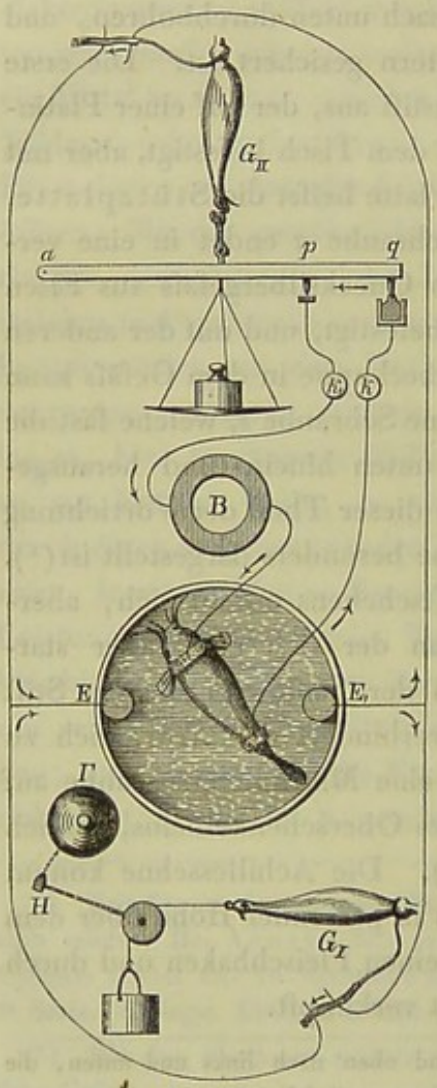


Fig. 12 *b*.

Der Gebrauch der Vorrichtung im Allgemeinen wird durch Fig. 12 *b* verständlich, welche das Schema eines Versuches am Zitterwelse giebt. Man erkennt leicht die Versuchswanne, darin den Fisch mit zwei ihm aufgesetzten, zur Ableitung des Schlages in den Versuchskreis bestimmten Metallsätteln. Von diesen Sätteln führen Drähte zu den Klemmen k, $k_{,}$, und der Versuchskreis, der bei B die Spiegelbussole enthält, ist durch das Stück pq des um a drehbaren Hebels so lange geschlossen, als der Stift bei p die Stützplatte und die verquickte Spitze bei q das Quecksilber berührt. Aufser dem Fisch mit seinen Sätteln sieht man in der Wanne die schon beim Froschwecker (s. oben S. 148) erwähnten Zinnelektroden E, $E_{,}$, von deren jeder ein gegabelter Draht ausgeht. Von den beiden Zweigen der Gabelung geht der eine zur Reizungsröhre des Froschweckers, dessen Gastroknemius, Hammer und Glocke man in G_I, H und Γ erkennt, der andere zu der des Unterbrechers. Schlägt der Fisch, wie er dies im Augenblick zu thun pflegt, wo

man ihm die Sättel aufsetzt, so gehen Theile des Schlages, ausreichend um Maximalzuckungen auszulösen, durch die beiden Reizungsröhren. Der Froschwecker schlägt an; die Zuckung des Gastroknemius G_{II} im Unterbrecher aber trennt den Platinstift p von der Stützplatte und öffnet so den Versuchskreis. Sobald die Zuckung nachläfst, sinkt der Stift wieder herab, und wenn jetzt auch die verquickte Spitze wieder in das Quecksilber tauchte, würde der Kreis wieder geschlossen. Dem wird jedoch vorgebeugt, indem man mittels der Schraube s die Quecksilberkuppe vorher so tief senkt, dafs der durch Capillaranziehung getragene Quecksilberfaden bei der geringsten Hebung der Spitze reifst (Fig. 12a, Taf. III).

Wie man leicht erkennt, ist nicht allein dieser Kunstgriff der Vorrichtung entlehnt, womit Hr. Helmholtz die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung im Nerven nach dem Pouillet'schen Verfahren mafs, sondern unsere Vorrichtung ist überhaupt nichts als eine bequemere und einfachere Gestalt der von ihm angewendeten (¹). Der Hebel ersetzt das bei Hrn. Helmholtz sogenannte „stromführende Zwischenstück", welches frei am Muskel hängt, und den doppelten Vortheil einer rein senkrechten und ganz ungehinderten Bewegung bietet. Dieser Vortheil ist in unserer Vorrichtung aufgegeben, da der Hebel sich im Kreise bewegt und dies nicht ohne eine gewisse Reibung vermag. Dafür ist dessen Handhabung leichter, weil die Pendelschwankungen des Zwischenstücks und die Unsicherheit seiner Lage auf dem es stützenden Querbalken MM (in den Helmholtz'schen Figuren 1, 2) fortfallen. Die Abweichung von der Senkrechten bleibt bei der Art, wie die Vorrichtung gebraucht wird, ohne Einflufs. Selbst am Myographion, wo sie der Curven etwas entstellt, wird sie vernachlässigt. Dafs die verquickte Spitze vermöge ihrer Lage am Hebel einen um ein Drittel längeren Weg beschreibt, als der Stift, und dieser einen um die Hälfte längeren, als der Angriffspunkt des Muskels, sichert einestheils die Zerreifsung des Quecksilberfadens, anderentheils die Öffnung des Kreises zwischen Stift und Stützplatte, bei Verkürzungen, wo an der ursprünglichen Vorrichtung Beides ausgeblieben wäre. Was die Reibung betrifft, so lehrt die Erfahrung am Myographion, wo zu der Reibung an der Hebelaxe noch zwei andere hinzutreten, dafs daraus keine namhafte Störung erwächst. Unsere

(¹) Müller's Archiv für Anatomie, Physiologie u. s. w. 1850. S. 276. Taf. VIII.

Vorrichtung dürfte sich daher zur Anstellung von Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung nach dem Pouillet'schen Verfahren recht gut eignen, nachdem man sich überzeugt hätte, dafs sie in ihrem gegenwärtigen Zustande die hinreichende Stabilität besitzt, oder nachdem man ihr solche durch passende Verstärkung ertheilt hätte. Auch würde sich leicht noch am Ende des Hebels ein Zeichenstift wie am Myographion anbringen lassen, was Gelegenheit zu manchen wichtigen Versuchen böte.

Wie dem auch sei, es ist klar, dafs die damals von Hrn. Helmholtz ermittelten Grundbestimmungen über die bei gleicher Länge des Muskels mit der Zeit wachsende Spannung desselben auf unsere gegenwärtigen Versuche Anwendung finden. Indem man den Muskel mittels der Mikrometerschraube senkt, erreicht man, dafs der Hebel durch die Platte gerade in der Stellung unterstützt wird, in der der Muskel ihn trägt, wobei also letzterer in den von Hrn. Helmholtz sogenannten Zustand der Belastung geräth. Der Augenblick, wo dieser Zustand eintritt, wird mit ausreichender Schärfe daran erkannt, dafs bei schnellendem Klopfen mit dem Finger auf die Stiftschraube, wie beim Percutiren zur ärztlichen Exploration, kein Klirren erfolgt (1). Um dies besser zu unterscheiden, müssen die Drähte, an denen die Wagschale hängt, an diese gelöthet sein, weil sie sonst an sich schon beim Klopfen ein Klirren erzeugen. Es ist vortheilhafter, sich dem Zustand der Belastung durch Herablassen des Muskels zu nähern, als durch Heben, weil im ersteren Falle der Muskel unter dem Einflufs der Belastung die ihm dabei zukommende Länge bereits annähernd angenommen hat, und daher nach erfolgter Einstellung seine Spannung besser behält, als wenn er früher unbelastet plötzlich der Reckung durch die Belastung ausgesetzt wird (2).

Der Zustand der Belastung bringt es bekanntlich mit sich, dafs die kleinste Zunahme des Muskels an Spannung den Stift von der Stützplatte hebt. Bei verschwindender Dauer des erregenden Stromes, z. B. wenn dieser ein durch Öffnen des primären Kreises erzeugter Inductionsschlag war, erfolgt nach Hrn. Helmholtz eine merkliche Zunahme an Spannung erst nach Ablauf zweier Zeiträume. Der erste Zeitraum ist der, während dessen

(1) Vergl. Helmholtz in Poggendorff's Annalen u.s.w. 1851. Bd. LXXXIII. S. 517.

(2) Vergl. Helmholtz in Müller's Archiv u.s.w. a. a. O. S. 312.

die Reizung von der gereizten Stelle des Nerven zum Muskel gelangt. Er wächst im Allgemeinen mit der Entfernung zwischen dem Muskel und, sofern es sich nicht um Öffnungszuckung handelt, der katelektrotonisirten Nervenstrecke (¹), und mit sinkender Temperatur. Der obere Rand des unteren Platinringes der Reizungsröhre liegt etwa 27^{mm} vom Muskel. Nach den Helmholtz'schen Bestimmungen wird daher bei mittlerer Temperatur dieser Zeitraum in unseren Versuchen bestenfalls, d. h. wenn der Strom absteigt, nicht unter $\frac{1}{980}$ Secunde betragen können. Der zweite Zeitraum ist das Stadium der latenten Reizung, welches über die Vorbereitungen für die Zusammenziehung im Muskel selber hingeht und sich auf nahe $\frac{1}{100}$ Secunde beläuft. Die Summe dieser beiden Zeiträume, etwa $\frac{1}{93}$ Secunde, würde die kleinste Dauer sein, die wir dem Strom in einem den Froschunterbrecher enthaltenden Kreise ertheilen könnten, wenn in demselben Augenblick, wo der Strom zu kreisen beginnt, eine Zuckung durch einen Strom von verschwindender Dauer ausgelöst würde. Dagegen sind wir im Stande, diese Dauer beträchtlich zu verlängern, dadurch, dafs wir, nachdem der Muskel in der angegebenen Weise belastet worden, auf die Wagschale Gewichte, als Überlastung in dem von Hrn. Helmholtz gebrauchten Sinne, legen. Zu den beiden ersten Zeiträumen tritt dann ein dritter hinzu, der im Allgemeinen mit der Überlastung wächst, und sich mindestens bis auf das dreifache der Summe jener ausdehnen kann, so dafs die ganze Dauer des Vorganges vom Augenblick der Reizung an, bis die Spannung des Muskels der Summe der Belastung und Überlastung gleich geworden ist, etwa 0,″04 beträgt.

Wie pünktlich der Unterbrecher sein Geschäft versieht, oder wie gleich die Zeiten ausfallen, die er unter sonst gleichen Umständen vom Augenblick der Reizung bis zum Heben des Stiftes jedesmal verstreichen läfst, ist leicht zu prüfen, indem man wiederholt den Ausschlag beobachtet, den ein während jener Zeit kreisender beständiger Strom an der Bussole erzeugt. Wir könnten uns hier an Hrn. Helmholtz' Versuche zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Reizung halten, in denen zwei solche Reihen,

(¹) Vergl. A. v. Bezold, Allgemeine Medicinische Central-Zeitung, 26. März 1859. St. 25; — Derselbe in den Monatsberichten der Akademie, 29. November 1860. S. 742; — in Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. 1860. Bd. VII. S. 587; — Derselbe, Untersuchungen über die electrische Erregung der Nerven und Muskeln. Leipzig 1861. S. 287. 303. 304.

die von verschiedenen Nervenstellen aus gewonnen sind, mit einander verglichen werden. Diese Reihen, die in seinen Tabellen je eine Vertical-Columne einnehmen, lassen eine völlig ausreichende Beständigkeit der Wirkungen von jeder Nervenstelle aus erkennen. Wir dürfen uns aber nicht hierbei beruhigen, auch abgesehen davon, dafs es rathsam erscheint, die neue Vorrichtung vor dem Gebrauch auf irgend eine solche Probe zu stellen. Hr. Helmholtz liefs, wie sein Zweck es mit sich brachte, seine Versuche einander unstreitig so schnell folgen, wie gewisse Umstände es erlaubten (1); und er hatte keinen Anlafs, sie länger fortzusetzen als nöthig, um daraus auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung zu schliefsen. Soll dagegen der Froschunterbrecher den von uns verlangten Dienst leisten, so mufs er mindestens anderthalb Stunden lang gleichmäfsig arbeiten, während welcher man allerdings nur etwa alle zehn Minuten einen Versuch anstellt: weil dies die Art ist, wie man die Versuche am Zitterwels leitet, um das Thier nicht zu sehr zu ermüden.

Es bedurfte also hier noch einer Prüfung, zu der ich folgendermafsen schritt. Ich brachte in einen Kreis 1. eine Grove'sche Kette, um den zeitmessenden Strom zu liefern; 2. die Spiegelbussole mit 53 Windungen in 15^{mm} Abstand vom Spiegel; 3. den Froschunterbrecher; 4. den von Hrn. Pflüger in die Elektrophysiologie eingeführten Fallhammer mit elektromagnetischer Auslösung, um den Kreis durch Eintauchen einer Platinspitze in Quecksilber zu schliefsen (2); 5. einen so ansehnlichen Widerstand, dafs die im Kreise befindlichen veränderlichen Widerstände, wie der zwischen Stift und Stützplatte, der der Quecksilbergefäfse am Unterbrecher und Hammer, dagegen verschwanden (s. oben S. 103); endlich 6. ein Rheochord, wodurch vom zeitmessenden Strom ein Zweig von angemessener Stärke zur Reizungsröhre des Unterbrechers abgeleitet wurde. Dieser Stromzweig erhielt im Nerven die absteigende Richtung. Im Kreise der elektromagnetisirenden Rollen des Hammers befand sich ein Daniell nebst einem Stromwender zum Fallenlassen des Hammers durch Umkehren des Stromes. Nachdem bei

(1) Müller's Archiv u.s.w. A. a. O. S. 312. 313.

(2) Das Spritzen des Quecksilbers, welches Hrn. Pflüger zwang, das Quecksilbergefäfs auf eine andere Unterlage zu stellen, als den Hammer (Untersuchungen über die Physiologie der Electrotonus. Berlin 1859. S. 114. 115), wird vermieden, wenn man das Grundbrett der Vorrichtung an der Stelle, wo der Hammer es trifft, unterstützt, so dafs es nicht federt.

100^{mm} Entfernung des Multiplicatorgewindes der Bussole vom Spiegel die Stärke des zeitmessenden Stromes (I) war bestimmt worden, um sich am Schlufs der Versuchsreihe seiner Beständigkeit versichern zu können, wurde alle zehn Minuten durch Umlegen der Wippe des Stromwenders der Hammer fallen gelassen und eine Schliefsungszuckung ausgelöst, welche den Kreis, durch dessen Schliefsung sie entstand, sogleich wieder öffnete. Das Multiplicatorgewinde war dabei dem Spiegel wieder so nahe gebracht, dafs ein Ausschlag von angemessener Gröfse erfolgte. Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse, die ich so an verschiedenen Präparaten bei verschiedenen Überlastungen erhielt. Eine Versuchsreihe ohne Überlastung fehlt, da ich, wie schon Hr. Helmholtz ([1]), fand, dafs dabei auf keine Regelmäfsigkeit zu rechnen sei. Die Zahlen der Tabelle sind unmittelbar abgelesene, den Zeiten proportionale Ausschläge. Die der einen Reihe sind aus verschiedenen Gründen nicht vergleichbar mit denen der anderen, weshalb die Ausschläge nicht regelmäfsig mit den Überlastungen wachsen ([2]).

([1]) Müller's Archiv u.s.w. A.a.O. S. 314.

([2]) Bringt man an Stelle der Bussole das Vertical-Galvanoskop von Siemens und Halske und an Stelle des Fallhammers einen Schlüssel, und verstärkt man gehörig den zeitmessenden Strom, so gelingt es leicht mittels der beschriebenen Anordnung in der Vorlesung die Grundlage der Helmholtz'schen Versuche vorzuführen. Beim Schliefsen des Kreises mittels des Schlüssels erfolgt auch ohne Überlastung ein kleiner Ausschlag, der von dem Stadium der latenten Reizung herrührt; beim Auflegen wachsender Überlastungen erhält man immer gröfsere Ausschläge. Es ist kein Grund da, weshalb man nicht mit Hülfe der Spiegelbussole, bei Anwendung des von mir beschriebenen Verfahrens, um deren Ablenkungen mehreren zugleich sichtbar zu machen (s. oben S. 83), den Zeitverlust im Nerven gleichfalls zur Anschauung sollte bringen können. Hr. Czermak hat kürzlich zu diesem Zweck sein Myochronoskop beschrieben (Allgemeine medicinische Central-Zeitung, 5. Juni 1861. XXX. Jahrgang. St. 45. S. 354; — Sitzungsberichte der Wiener Akademie, 4. Juli 1861. Bd. XLIV. S. 231; — Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. 1862. Bd. VIII. S. 478). So sinnreich dies ist, so scheint es mir für den Vortrag den Nachtheil zu haben, dafs seine Wirkungsweise schwerer zu erklären ist, als was es erläutern soll. Bedenklich ist auch, dafs, während Hr. Helmholtz, worin ich ihm beistimme (s. oben), es unmöglich fand, ohne Überlastung regelmäfsige Ausschläge von der nämlichen Nervenstelle aus zu erhalten, und deshalb nie einen Zeitmessungsversuch ohne Überlastung anstellte, am Myochronoskop nicht nur keine Einrichtung zum Überlasten vorhanden ist, sondern auch in der Beschreibung der damit angestellten Versuche der Hinweis auf die ungemeine Sorgfalt fehlt, womit das Einstellen auf Belastung alsdann geschehen mufste, sollte es nicht völlig dem Zufall überlassen bleiben, welcher der beiden Muskeln zuerst den Kreis öffnete. (Nachträgliche Anmerkung.)

Minuten.		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	*I* vorher.	*I* nachher.
Überlastungen in Grammen.	5	30.0	29.6	29.0	27.0	27.3	26.8	26.9	25.8	24.0	26.7	26.6	26.0	26.0	118.2	116.0
	50	63.6	66.2	65.2	64.4	65.6	63.5	62.2	63.4	62.9	63.0	64.4	62.6	64.0	191.3	189.7
	100	58.0	56.7	56.0	56.5	55.0	54.6	55.3	55.8	56.4	56.7	56.8	59.5	60.3	191.4	193.2
	150	57.0	56.7	57.2	57.3	58.5	56.5	56.8	54.8	56.4	57.7	58.0	58.8	57.3	185.3	182.8

Über zwei Stunden hinaus wuchsen die Ausschläge rasch, und bei den höheren Überlastungen wurde bald der Hebel nicht mehr hoch genug gehoben, um den Quecksilberfaden zu zerreifsen (1).

Bei der Betrachtung der obigen Zahlenreihen springt zunächst das Gesetz in die Augen, dafs die Ausschläge, oder die denselben proportionalen Schliefsungszeiten, zuerst ab- und dann wieder zunehmen. Die Erörterung dieses Umstandes wird besser in eine Anmerkung verwiesen (2), da

(1) Beim Herabsinken des Stiftes auf die Stützplatte wird alsdann der Kreis wieder geschlossen, was eine neue Zuckung zur Folge hat, ein Vorgang, der sich so oft erneuert, als die Erregbarkeit des Präparates es zuläfst. Am frischen Präparat und bei kleiner Überlastung kann man dasselbe bewirken, indem man die Quecksilberkuppe so hoch schraubt, dafs die Spitze beim Herabsinken wieder eintaucht. Dies ist die ausgebildetste Form jenes elektrischen Froschschenkel-Tanzes, den schon Galvani in seinem Commentar mit ungleichartigen Metallen (De Viribus Electricitatis in Motu musculari Commentarius etc. Mutinae 1792. 4. p. 19; — Übersetzt von Joh. Mayer u. s. w. Prag 1793. S. 39; — Opere edite ed inedite ec. Bologna 1841. 4. p. 82), im Trattato dell' Uso aber sogar mit dem Muskelstrom beschrieben hat (Trattato dell' Uso e dell' Attività dell' Arco conduttore nelle Contrazioni dei Muscoli. Bologna 1794. p. 83; — Opere edite ed inedite ec. p. 210). — Vergl. meine Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 63. — Hr. Czermak hat unlängst diese Erscheinung als neu beschrieben (Sitzungsberichte der Wiener Akademie, 4. Juli 1861, Bd. XLIV. S. 239; — Moleschott's Untersuchungen u. s. w. Bd. VIII. S. 487. (Nachträgliche Anmerkung.)

(2) Eine Spur desselben Verhaltens läfst sich, wie ich finde, in den Helmholtz'schen Versuchsreihen entdecken. Einmal in der Reihe I. (a. a. O. S. 303), in der zwar mit den Überlastungen gewechselt, dieselbe Überlastung aber in ziemlich weitem Zeitabstande dreimal nach einander aufgelegt wurde. Der mittlere Ausschlag ist der kleinste. Zweitens in einigen der Reihen, in denen, zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Reizung, bei gleicher Überlastung bald von einer näheren, bald von einer entfernteren Stelle aus gereizt wurde. Diese Art Reihen kommt, wie bemerkt, ganz mit den unsrigen überein, bis auf das Wechseln mit der gereizten Stelle des Nerven, und bis auf die Zeiten, die zwischen den einzelnen Versuchen verflossen. Demgemäfs sieht man in Hrn. Helmholtz' Reihe X. *B* und XI. *A* (S. 342. 343) die Ausschläge in derselben Vertical-Columne, die von der nämlichen Nervenstelle aus erfolgt sind, gleichfalls zuerst ab- und dann wieder zunehmen.

sie uns hier zu weit führen würde. Sieht man ab von einigen aus der Ordnung fallenden Zahlen, welche wohl nur Einstellungsfehlern zuzuschreiben

---

Die sich zuletzt einstellende Zunahme rührt von der Abnahme der Leistungsfähigkeit her, in Folge welcher dieselbe Spannung später eintritt, als auf früheren Stufen der Erregbarkeit. Es frägt sich aber, woher die zuerst beobachtete Abnahme der Ausschläge stamme.

Sie könnte erstens kommen von einem Sinken der Stärke des zeitmessenden Stromes, dessen Einflufs später durch die Abnahme der Leistungsfähigkeit überwogen würde. Die Tabelle lehrt jedoch, dafs die Abnahme der Stromstärke selbst nach zwei Stunden nicht ausreicht, die Abnahme des Ausschlages nach einer Stunde zu erklären. In einem Falle (dem mit 100gr Überlastung) war sogar die Stärke des zeitmessenden Stromes nach zwei Stunden etwas gröfser als anfangs, während die Ausschläge das nämliche Gesetz zeigten.

Etwa während der ersten Hälfte jeder Versuchsreihe mufs man von Versuch zu Versuch den Muskel etwas heben, um die richtige Einstellung des Stiftes auf der Stützplatte zu bewirken. Hingegen während der zweiten Hälfte mufs man, um dasselbe zu erreichen, den Muskel etwas senken. Das Erste rührt daher, dafs der Muskel durch die dauernde Belastung gedehnt wird und an Spannung verliert, das Zweite vom Austrocknen der Sehne (s. oben S. 147). Diese Veränderungen schreiten auch während des Zeitraumes fort, der zwischen dem erneuten Einstellen des Stiftes auf der Stützplatte, welches jedem Versuch vorhergeht, und dem Versuch selber verfliefst, und wie klein sie auch während dieses Zeitraumes ausfallen mögen, so müssen sie doch dahin wirken, die Dehnung, einen Theil der Belastung in Überlastung zu verwandeln, und so die Schliefsungszeit zu vergröfsern (Helmholtz, a. a. O. S. 312), die Verkürzung, diese Zeit zu verkleinern. Von diesen beiden Wirkungen nähert sich die erste von Anfang an einer Grenze; die zweite hingegen kann erst in Wirksamkeit treten, nachdem die der Sehne oberflächlich anhaftende Flüssigkeitsschicht verdunstet ist. Es nimmt also von Anfang an eine Wirkung ab, welche die Schliefsungszeiten zu verlängern, und es entwickelt sich mit der Zeit eine Wirkung, welche jene Zeiten abzukürzen strebt. Man könnte daran denken, hieraus die Abnahme der Ausschläge zu erklären. Sie würde nur während der ersten Versuchshälfte bemerkbar werden, weil während der zweiten Hälfte die Zunahme wegen sinkender Leistungsfähigkeit die Oberhand erhielte. In Hrn. Helmholtz' Versuchen war indefs der Muskel, wenn auch nicht so vollkommen wie der Nerv, vor der Trocknifs geschützt, und in einem von mir angestellten Controllversuch, wo er ganz ebenso geschützt war, erfolgte die Abnahme der Ausschläge wie sonst. Von der Trocknifs also, als Ursache dieser Abnahme, ist jedenfalls abzusehen. Was die Dehnung betrifft, so ist nicht wohl denkbar, dafs ihr Einflufs grofs genug ausfalle, in Erwägung, dafs es sich dabei nur um Unterschiede einer sehr kleinen und langsam abnehmenden Gröfse handeln würde.

Mit Erklärungsgründen dieser Art dürfte hier nichts auszurichten sein. Dagegen möchte Folgendes in Betracht kommen. Hr. Hermann Munk hat kürzlich gezeigt, dafs das Erregungsmaximum des Nerven, gemessen durch die gröfste, nach augenblicklicher Reizung erreichte Zuckungshöhe, in der ersten Zeit nach der Zurichtung sehr rasch beträchtlich ansteigt, um dann erst langsamer zu sinken (Archiv für Anatomie, Physiologie u. s. w. 1860. S. 810. 814. 815). Einem ähnlichen Gesetze folgen gleichzeitig sämmtliche Ordinaten der Curve

sind, so ergiebt sich, dafs der Froschunterbrecher volle zwei Stunden lang mit einer für unsere Zwecke genügenden Pünktlichkeit die Aufgabe erfüllt, einen Kreis nach einer durch die Überlastung bemessenen Frist zu öffnen.

Demnächst wäre zu zeigen, welchen Einflufs das Einschalten des Froschunterbrechers in den Versuchskreis des Zitterwelses übt. Es ist indefs meine Absicht nicht, hier ausführlich darauf einzugehen. Das allgemeine Ergebnifs dieser Versuche habe ich schon anderswo mitgetheilt ([1]). Gemäfs dem oben S. 149. 150 Gesagten, besteht dasselbe darin, dafs keineswegs der Zitterwelsschlag zu flüchtig ist, um mittels der Zuckung seinen Eintritt in eine stromprüfende Vorrichtung zu regeln; dafs vielmehr die Dauer des Schlages mit der der Zusammenziehung von einerlei Ordnung ist; und dafs man so mittels des Froschunterbrechers nicht allein bei wiederholtem Schlagen des Fisches den späteren Schlägen den Weg versperren kann, sondern es sogar in seiner Gewalt hat, vom ersten Schlage nur einen im Allgemeinen mit der Überlastung wachsenden Bruchtheil durchzulassen. Man kann auch umgekehrt so verfahren, dafs man das Stück *pq* des Hebels zu einer Nebenleitung zum Versuchskreise macht, welche durch die Zuckung geöffnet wird. Alsdann werden die Ausschläge um so kleiner, je höher die Überlastungen. Man kann also dergestalt mittels der Zuckung beliebige Stücke vom Anfang oder vom Ende der Entladung gleichsam abschneiden, und nur den Rest zur Wirkung im Versuchskreise zulassen.

Man könnte, beim ersten Blick, an diese Versuche die Hoffnung auf noch viel weiter gehende Erfolge knüpfen. Die Dauer der Zuckung eines Froschgastroknemius, die Zeit, deren ein solcher nach der Reizung bedarf, um eine bestimmte Spannung zn erlangen, ist gleichsam eine Constante der Natur. Warum sollte man nicht, wenn einmal die zum Erlangen einer bestimmten Spannung nöthige Zeit bekannt ist, daraus, dafs der Muskel diese Spannung erlangt hat, umgekehrt schliefsen, dafs jene Zeit verflossen sei?

---

der Erhebungshöhen, also auch die der Curve der Spannungen bei gleicher Länge. Dann ist klar, dafs eine gewisse Zeit nach der Zurichtung die gleiche Spannung schneller nach der Reizung eintreten werde, als früher und als später, mit anderen Worten, dafs, wie wir es fanden, die Schliefsungszeiten ein Minimum haben müssen. (Hr. Munk ist seitdem zu der Überzeugung gelangt, dafs das Ansteigen des Erregungsmaximums von einer Temperaturerhöhung des Präparates abhänge. A. a. O. 1861. S. 425 ff; — 1862. S. 1 ff. [Nachträglicher Zusatz.])

([1]) Monatsberichte u. s. w. 28. Januar 1858. S. 96. 102.

Es scheint, als böte sich so in passend geleiteten Versuchsreihen am Froschunterbrecher ein Mittel dar, mit Hülfe der Helmholtz'schen Curve der Spannungen bei gleicher Länge (¹), die Dauer des Zitterwelsschlages wahrhaft zu messen, und dessen zeitlichen Verlauf wenigstens ungefähr anzugeben.

Inzwischen lauern in diesen Bestimmungen noch mehrere Unbekannte, die einen so raschen Fortschritt vorläufig untersagen.

Ein erster Umstand, der einen solchen Gebrauch der Helmholtz'schen Zahlen unmöglich macht, ist der Einflufs der Gröfse des Muskels auf die Curve der Spannungen. Die folgende Tabelle giebt einen Begriff von diesem Einflufs, den Hr. Helmholtz zu berücksichtigen keinen Grund hatte. Sie zeigt das Ergebnifs von Versuchen, welche ganz wie die oben S. 157 beschriebenen mit Gastroknemien von verschiedener Länge angestellt wurden. Die Zahlen sind das abgerundete Mittel dreier Versuche, zwischen denen drei Minuten verflossen.

Überlastung 100^{gr}.

Länge in MM.	19	22	26	33	35
Ausschläge in Sc.	72	60	68	64	52

Wie zu erwarten war, fällt die Schliefsungszeit bei gleicher Überlastung im Allgemeinen um so kleiner aus, je gröfser der Muskel; doch nimmt sie langsamer ab, als im umgekehrten Verhältnifs der Gröfse.

Man sieht zweitens, an dem Beispiel des 22^{mm} langen Muskels, dafs aufser der Gröfse des Muskels auch noch dessen Leistungsfähigkeit in's Spiel kommt, und gelegentlich den Einflufs der Gröfse überwiegt.

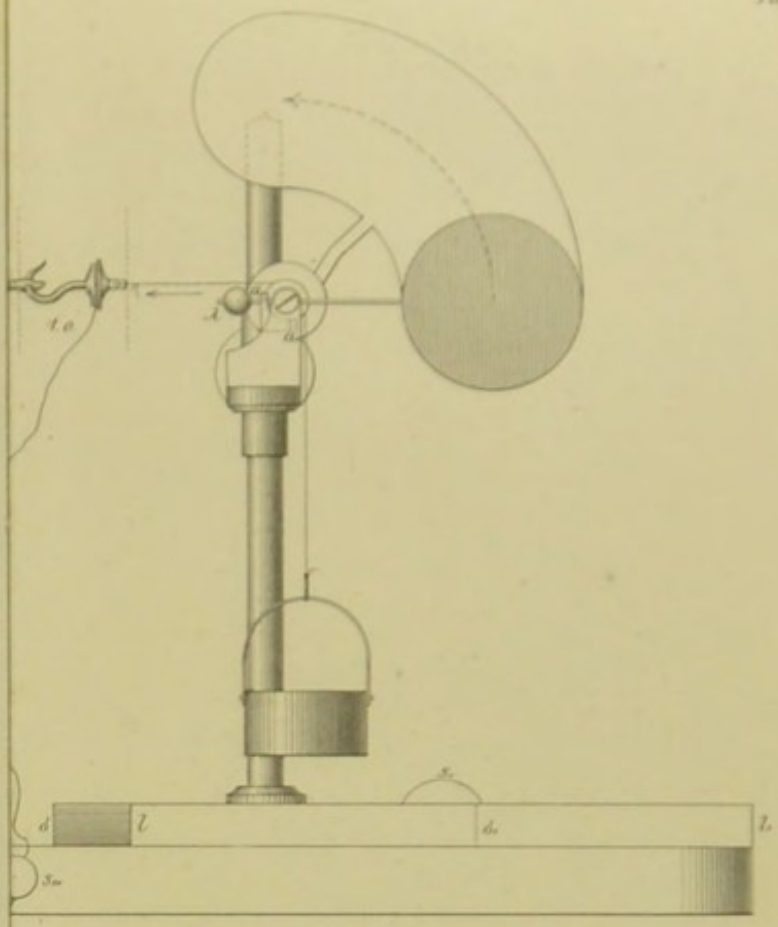
Drittens aber, und hauptsächlich, setzt der Gebrauch der Zuckung zu Zeitmessungen in der angedeuteten Art eine gleichmäfsige Reizung des Nerven voraus. In Hrn. Helmholtz' Versuchen geschah diese stets mittels eines Öffnungsinductionsschlages von verschwindender Dauer seiner reizenden Theile. In den Fischversuchen dagegen geschieht die Reizung durch einen Zweigstrom, der auf sehr verschiedene Weise dem Theil des Schlages entlehnt wird, welcher durch das Wasser der Versuchswanne geht. Insofern der Reiz dabei stets ein Maximalreiz bleibt, kommt darauf weniger an,

(¹) A. a. O. Taf. VIII. Fig. 4. Vergl. dazu S. 306-309.

dafs er oberhalb des Maximums bald gröfser, bald kleiner ausfällt. Was dagegen sehr in Betracht kommt, ist, dafs der Reiz in unserem Falle keine zu vernachlässigende, ja nicht einmal eine beständige Dauer hat. Man kann denselben nämlich offenbar als einen an Dauer die Schliefsungszeit übertreffenden Maximalreiz auffassen; da die späteren Stadien des Vorganges ohne Bedeutung für die Schliefsungszeit sind, also gleichsam als würde der Nerv während der ganzen Schliefsungszeit, sie sei kurz oder lang, mittels einer stetigen, sehr ausgiebigen Stromschwankung bis zum Maximum tetanisirt. Die Schliefsungszeit für eine bestimmte Überlastung wird, Alles Übrige gleich gesetzt, in den Fischversuchen also kleiner sein, als in den Helmholtz'schen oder in den oben S. 157 von uns angestellten Versuchen, und die Schliefsungszeiten und Überlastungen werden dort durch eine andere und mehr verwickelte Beziehung verknüpft sein, als hier. Unter diesen Umständen ist es klar, dafs, um aus den Versuchen am Froschunterbrecher auf Verlauf und Dauer des Zitterwelsschlages weitere Schlüsse zu ziehen, zuerst noch Messungen der Zeit anzustellen wären, die beim Tetanisiren in obiger Art zwischen Beginn der Reizung nnd Heben der Überlastung verfliefst.

Bei alledem bleibt noch die Möglichkeit zu erwägen, wodurch auch diese Auskunft entwerthet würde, dafs es sich am Zitterwels nicht immer um einen Maximalreiz handelt, und dafs so auch noch der wechselnde Verlauf des Schlages von Einflufs auf die Schliefsungszeit werde.

Inhaltsverzeichnifs.



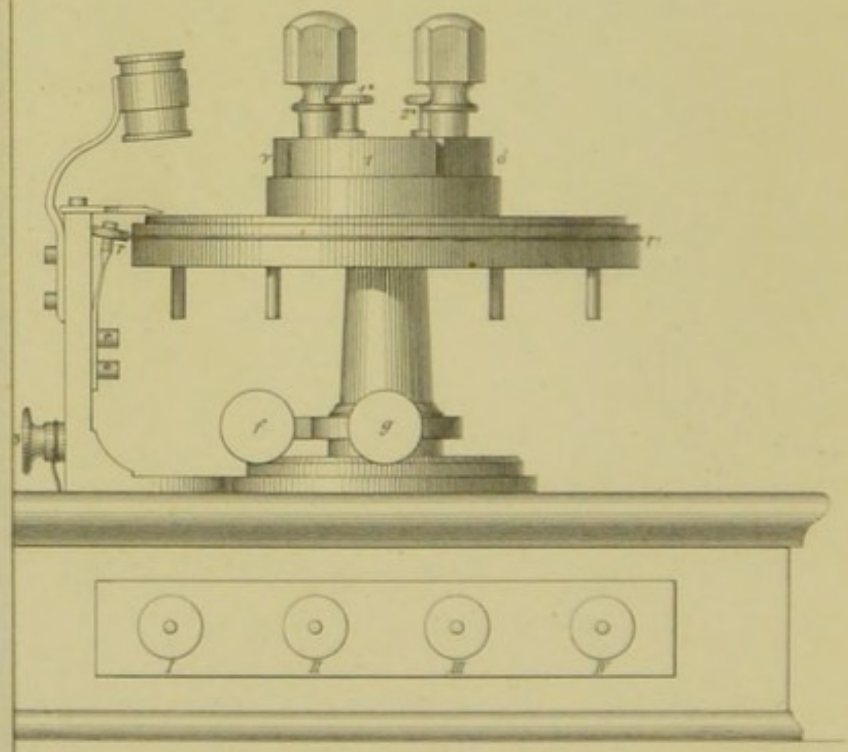
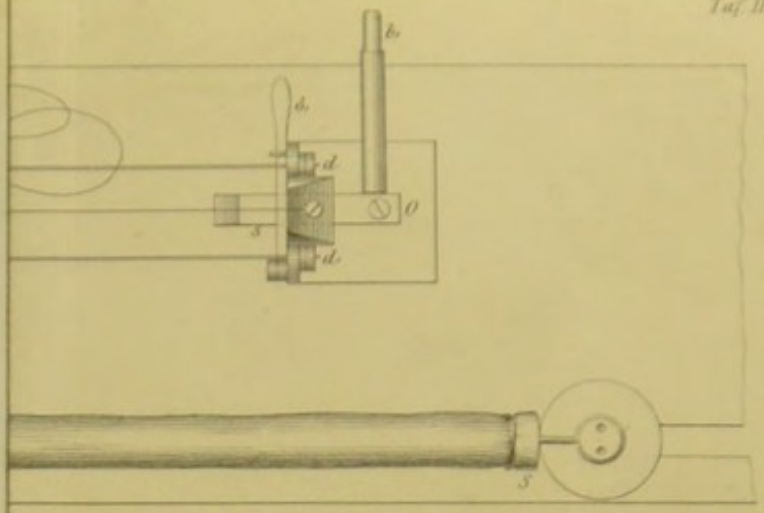


Fig. 6 _ O. S.

P. Kadeder gez.



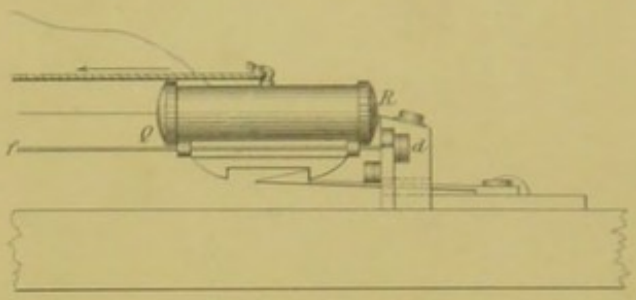


Fig. 8 a. _ 0 66.

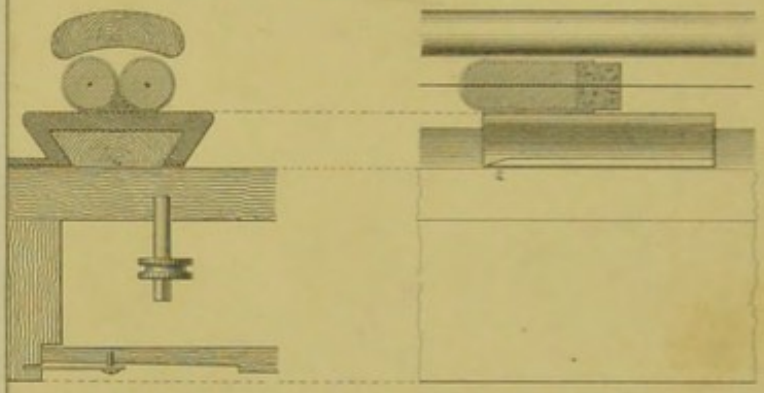
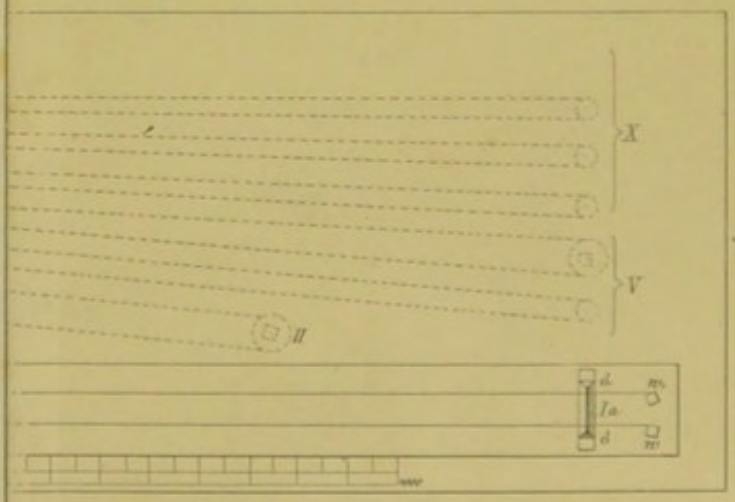


Fig. 7a. 0 5. Fig. 7b.



XI.

P. Radeder gez.

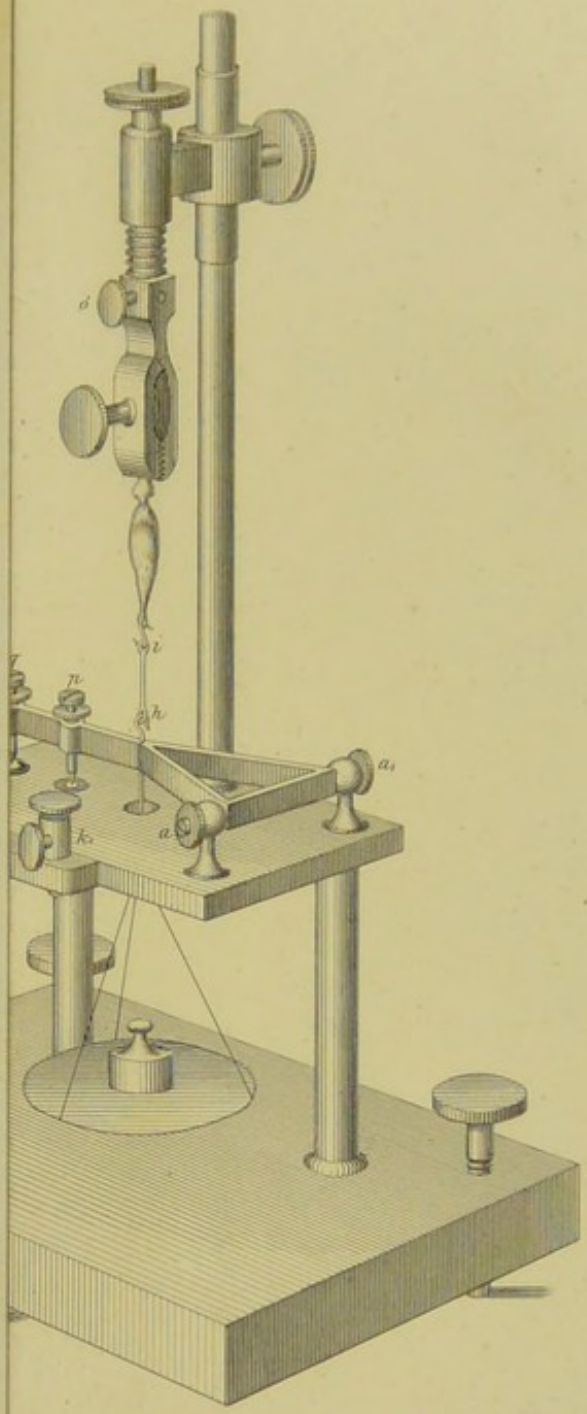


Fig. 12_ 0.5.

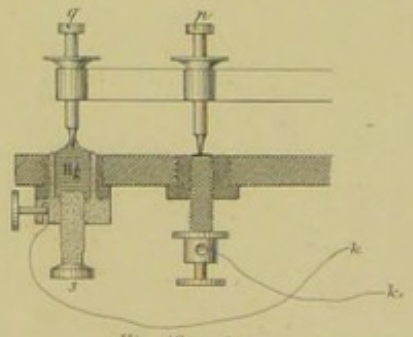


Fig. 12 a._ 0.66.

P. Kadeder geet.