

## VIII.

### Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen zu elektrophysiologischen Zwecken.

(Im Auszuge gelesen in der Gesamtsitzung der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 30. Mai 1861.)<sup>1</sup>

Hierzu Taf. I—III.

Ich habe, seit dem Erscheinen meiner 'Untersuchungen über thierische Elektrizität', zu dem, was dort 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 Zusammenhang eine Schilderung auch dieser schon bekannteren Hilfsmittel 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, dass eine Beschreibung derselben für überflüssig gelten darf, und die Art sie zu behandeln kann auch als so allgemein bekannt vorausgesetzt werden, dass höchstens einzelne minder auf der Hand liegende Rathschläge noch am Platze scheinen möchten.

<sup>1</sup> Abhandlungen der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1862. Berlin 1863. 40. Physikalische Klasse. S. 75.  
E. du Bois-Reymond, Ges. Abh. I.

Folgendes Verfahren beim Aufstellen des Multiplicators führt schnell und sicher zum Ziel. Ich nehme an, dass der einfache Coconfaden mit seinem Häkchen bereits eingebracht ist. Man giebt dem Theodolitenfuss [76] des Instrumentes 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 ange kitteten Messingplatten, und befestigt das Stück Glas an das Consol, indem man es mit Kolophoniumkitt umgiesst. 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,<sup>1</sup> welche Nadel die stärkere ist, und schwächt diese mittels der Streichnadel bis zu dem Maasse der freiwilligen Ablenkung, das Geschick und Glück, und, wie ich unlängst in POGGENDORFF's Annalen gezeigt habe,<sup>2</sup> der Parallelismus der Nadeln zu erreichen gestatten. Die Theorie verschiedener Fälle stabilen und labilen Gleichgewichtes der Nadelpaare, auf die man dabei stossen kann, habe ich dort, mit Rücksicht auf eine Beobachtung des Hrn. SAUERWALD, entwickelt. Beim Handhaben der Nadeln vergesse man nicht, dass man das Zwischenstück aus Schildpatt besser nicht mit der Hand berührt, durch deren feuchte Wärme es leicht verkrümmt werden könnte,<sup>3</sup> 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 [77] rühmen das Ver-

<sup>1</sup> Zur Kenntniss eines Nadelpaares gehört, dass 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 unbekanntem 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.

<sup>2</sup> S. die vorige Abhandlung.

<sup>3</sup> Aluminium würde als Material für das Zwischenstück jetzt vielleicht den Vorzug vor dem Schildpatt verdienen.

fahren, 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 selber an Magnetismus verliert. Es ereignet sich wohl, dass man mit der Streichnadel keine Schwächung der stärkeren Nadel mehr erhält, wenn man sie an bestimmten Punkten ihres Umfangs, 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<sup>1</sup> gegebenen Regeln, zu denen ich nichts hinzuzufügen wüsste, als dass man zum Compensator statt der Spitze der dort empfohlenen Perlnadeln, die nicht aus hartem Stahl bestehen, besser die der Aachener Nähadeln Nr. 12 (lang) benutzt.

Hr. TYNDALL hat kürzlich die Bemerkung gemacht, dass die gewöhnlich zum Bespinnen angewendete grüne Seide Eisen enthalte und magnetisch wirke, und es ist ihm gelungen, völlig anziehungsfreie Drahtmassen herzustellen, indem er weisse Seide zum Bespinnen nahm.<sup>2</sup> 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, dass mein Draht, selbst nach dem Auflösen der vielleicht durch das Ziehen verunreinigten Schicht, Eisen enthielt, und dass Stücke von demselben Kupfer, aus dem er gezogen war, stark magnetisch wirkten.<sup>3</sup> Der Kupferdraht, den Hr. SAUERWALD neuerdings zu seinen Multiplicatoren ver- [78] wendet hat, ist durch Stein gezogen, und trotzdem magnetisch, auch wenn er mit weisser Seide besponnen wird. Es würde also Täuschung sein, wenn man hoffte, fortan

<sup>1</sup> 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 und 15 von oben) zu streichen, da diese Curve, um die Figur nicht noch mehr zu verwickeln, fortgelassen wurde.

<sup>2</sup> Philosophical Transactions etc. For the Year 1861. p. 2; — PÖGGENDORFF'S Annalen u. s. w. Bd. CXIII. 1861. S. 2.

<sup>3</sup> Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 164. 187.

durch blosse Anwendung weisser Seide zum Besspinnen 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<sup>1</sup> ist galvanoplastisches Kupfer keinesweges ohne Weiteres als eisenfrei anzusehen; es kann erst durch ein so mühseliges und kostspieliges Verfahren eisenfrei erhalten werden, dass es vermuthlich in jeder Beziehung vortheilhafter wäre, Silber zu verwenden. Die Schwierigkeiten, auf die Hr. MAGNUS bei Herstellung eines eisenfreien Gewindes zu thermoëlektrischen Zwecken stiess, 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 muss 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, dass die Anziehungen, welche nicht eisenfreie Drahtmassen und das Berichtigungsstäbchen auf das Nadelpaar ausüben, von der Höhe abhängen, in der dasselbe im Rahmen schwebt, oder von der Länge des Fadens. Diese Länge unterliegt, wenn nicht besondere Maassnahmen getroffen sind, wegen der wechselnden Feuchtigkeit der Luft, fortwährenden Schwankungen, deren grössere Werthe man bei einiger Aufmerksamkeit leicht beobachten kann. Nun aber kommt das Gleichgewicht des Nadelpaares im Azimuth zu Stande durch Zusammensetzung jener beiden Kräfte mit der Richtkraft der Erde. Aendern sich also jene Kräfte in Folge einer Höhenschwankung der Nadeln, so muss auch im Allgemeinen die Gleichgewichtsstellung der Nadeln eine andere werden. Abgesehen von anderen denkbaren Fällen, die kein [79] 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,

<sup>1</sup> Physikalische Abhandlungen der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Aus dem Jahr 1851. 4. S. 6. (8); — POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1851. Bd. LXXXIII. S. 474.

wie man sieht, wiederum voraus, dass das Nadelpaar centrisch hänge. Bei der Schwierigkeit, die hier vorgeschriebenen Bedingungen in Strenge zu erfüllen, und der verhältnissmässig geringen Sorgfalt, die wohl darauf verwendet worden ist, bin ich überzeugt, dass 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 Aenderungen in der Intensität der Nadeln u. d. m. stets nur dürftig erklärte.<sup>1</sup> 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, unbegreiflicher Weise von der Torsion des Fadens ableitete.<sup>2</sup>

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,<sup>3</sup> längst aufgegeben habe. Die Austrocknung kann übrigens nur einen günstigen Einfluss 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 Porzellengefässe 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 [80] Gefässe zu entfernen, damit nicht überkletterndes kohlen saures 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.<sup>4</sup> 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 entspringe, dass die obere Nadel die stärkere ist, er durch den Vortheil aufgewogen würde, dass man gelegentlich, ohne das Nadelpaar

<sup>1</sup> Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 192.

<sup>2</sup> La Thermoçrôse ou la Coloration calorifique etc. Naples 1850. p. 33 et suiv.

<sup>3</sup> Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 485.

<sup>4</sup> Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 173.

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 Uebung, durch ein Magnetstäbchen zu thun vermag.<sup>1</sup> Lasse ich die Nadel meines Multiplicators von 24160 Windungen von 90° fallen, das einmal 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- [81] weitig zu thun hat, namentlich aber in Vorlesungen, ist dies Verfahren sehr nützlich.

Hr. SAUERWALD giebt, auf meine Veranlassung, seinen grossen Multiplicatoren einen Stromwender bei, der mit Leichtigkeit verschiedene Combinationen der beiden Multiplicatordrähte mit der Kette und mit einer Nebenschliessung herzustellen erlaubt. Mit Hülfe davon kann man 1) die Kette, mit Ausschluss des Multiplicators, in sich schliessen, 2) den Strom nur durch eine bestimmte Windung, 3) durch beide Windungen hintereinander oder 4) zugleich hindurchlassen, 5) eine Nebenschliessrolle 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 Hrn. SIEMENS und HALSKE einen noch vollständigeren Stromwender, welcher nämlich den Strom auch noch beliebig durch die eine oder die andere der beiden

<sup>1</sup> Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 192.

Windungen zu senden erlaubt. Von Wichtigkeit unter diesen Combinationen sind indess nur die mit 1., 3., 5. und 6. bezeichneten. Mit Hülfe geeigneter Nebenschliessungen lässt 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, dass 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 indess ein Draht leichter zurecht als zwei, und man hat die Sicherheit, dass durch einen etwa entstehenden Isolationsfehler nie mehr als höchstens zwei Lagen ausser Wirkung kommen.

Der Stromwender muss 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- [82] kommen zu bewerkstelligen, nämlich das Schliessen des Multiplicators durch einen kurzen metallischen Bügel. Inzwischen leistet das Schliessen durch die Nebenschliessrolle (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, dass es auf den Unterschied nicht ankommt.<sup>1</sup>

Um die Uebersicht der Versuche zu erleichtern, ist es vorthellhaft, die Verbindungen so herzustellen, dass das beobachtete Ende der Nadel sich im gleichen Sinne bewegt, wie der Strom zwischen den Zuleitungsgefässen.

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 muss, dass es der Nadel in ziemlich hohe Ablenkungen folgen kann. Statt auf die in meinem Werke, a. a. O. S. 484. 485, beschriebene Art,

<sup>1</sup> [Bei der zuletzt angenommenen Form des Stromwenders wird der Multiplicator beim Schliessen der Kette in sich stets zugleich auch in sich geschlossen.]

kann dies auch so geschehen, dass 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 schliesst, ein passend geneigter Spiegel oder ein Prisma angebracht wird, worin ein wagerechtes Fernrohr das Bild der Nadel erblickt.<sup>1</sup>

Schliesslich stelle ich die Literatur über 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.
- [83] 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 Jahr 1848<sup>2</sup> habe ich die Vermuthung ausgesprochen, dass 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 zurückge-

<sup>1</sup> POGGENDORFF'S Annalen u. s. w. 1835. Bd. XXXIV. S. 387.

<sup>2</sup> A. a. O. Bd. I. S. 197.

worfenen Lichtbündels sichtbar wird.<sup>1</sup> So lange indessen die Ladungen der Platinelektroden messende Versuche in diesem Gebiet überhaupt vereitelten, fehlte es an einer bestimmten Veranlassung, den Multiplicator für die Spiegelbussole aufzugeben. Als aber durch Erfindung der unpolarisirebaren Elektroden dies Hinderniss beseitigt war, wies ich sogleich auf den Vortheil hin, den jetzt die Spiegelablesung hier verspreche. „Mit den absolut gleichartigen, unpolarisirebaren verquickten Zinkelektroden „zur Ableitung; mit dem Princip der Nebenleitung zur Erzeugung auf's „Feinste abgestufter elektromotorischer Kräfte jeder Ordnung; endlich „mit der Spiegelbussole, die, bei gleicher Empfindlichkeit mit dem Nerven- „Multiplicator, keiner schwierigen und vergänglichlichen 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.“<sup>2</sup>

[84] In demselben Aufsatz, S. 49. 50, führte ich an, dass meine von Hrn. SAUERWALD nach Hrn. WIEDEMANN'S Modell gebaute Bussole, mit 12000 Windungen feinen Drahtes versehen, bei 2285<sup>mm</sup> Abstand der Scale vom Spiegel, ohne dass 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 grössere relative, und innerhalb der ersten 65° die grössere absolute Empfindlichkeit besitze, darüber hinaus jedoch der Bussole mehr und mehr nachstehe.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> S. oben S. 131. Abh. VI.

<sup>2</sup> S. oben Abh. IV. S. 76. 77.

<sup>3</sup> Um dies zu prüfen, hatte ich durch beide Instrumente hintereinander einen von einer beständigen Kette abgeleiteten Stromzweig geschickt, dessen Stärke durch Verlängern der Nebenschliessung schrittweise erhöht wurde. Mit gleicher absoluter Empfindlichkeit ist im Obigen gemeint, dass 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, dass 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° schliesst 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.

Für die meisten Versuche über den Muskelstrom reicht die Empfindlichkeit der Bussole in dem bezeichneten Zustand aus. Ein Adductor magnus vom Frosch, auf die Thonschilder der sogleich zu beschreibenden neuen Zuleitungsgefässe mit Längsschnitt und künstlichem Querschnitt aufgelegt, giebt gegen 300<sup>sc</sup> (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 höchsten 25<sup>sc</sup> 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 Vergrösserung des Fernrohres steigern; man kann [85] 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 überflüssige Empfindlichkeit herzustellen.

Welch grosser Vortheil aus dem linearen Gange der Intensitätencurve an der Spiegelbussole entspringe, auch wenn man keine Messungen bezweckt, bedarf nicht der Erwähnung. Die relative Empfindlichkeit bleibt bei jeder noch verwendbaren Ablenkung die nämliche, und von dem Verhältniss grosser 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 Bedürfniss der Elektrophysiologie nach einem Galvanoskop von grosser 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 Zuleitungsgefässen noch stets um unbeständige Ströme handelt, von unschätzbarem Nutzen. Nimmt man hinzu, dass die Spiegelbussole von allen Schwierigkeiten der Handhabung, die dem Multiplicator mit astatischem Nadelpaar stets anhaften werden, frei ist, und dass ihr Preis, mit Inbegriff eines STEINHEIL'schen Fernrohres, 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 muss ich sagen, dass ich selber mich seit jenem Zeitpunkte mit grossem Vortheil der Bussole fast ausschliesslich zu meinen Untersuchungen bedient habe.

Inzwischen hat diese auch ihre Mängel. Sie verlangt zu ihrer Anstellung 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 grössten 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" [86] 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 grössere 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 Missstande.<sup>1</sup> Nachts bleibt Beleuchtung der Scale in solcher Ausdehnung, wie sogenannte qualitative Versuche es erheischen, bei denen man oft nicht vorher weiss, in welcher Richtung und Grösse der Ausschlag erfolgen wird, stets eine missliche Aufgabe. Namentlich aber ist an der Spiegelablesung auszusetzen, dass 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, dass 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 solches Verfahren, und alsdann braucht man zum Ablesen der Bussole einen Gehülfen, was namentlich bei qualitativen Versuchen unbequem ist, wo die Beobachtungen sich nicht regelmässig folgen, sondern jeden Augenblick durch Ueberlegungen und durch Vorbereitungen, deren Bedürfniss 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. 152. 153 gedacht wurde.

Es bleiben somit den Multiplicatoren für jetzt auch noch einige Vorzüge, und da sie ohnehin zur Zeit die am meisten verbreitete

<sup>1</sup> S. unten, Abh. XV.

galvanometrische Vorrichtung sind, so habe ich nicht für unnütz gehalten, hier noch einmal auf deren Handhabung zurückzukommen.

[87] Die Theorie der Spiegelbussolen findet sich an verschiedenen Stellen so vollständig entwickelt und ihre Behandlung ist so einfach, dass darüber nichts weiter zu sagen ist. Doch will ich bemerken, dass ich mich bei längerem Gebrauch der Spiegelablesung zu electrophysiologischen Zwecken nicht in die von den magnetischen Beobachtungen herstammende Gewohnheit habe finden können, eine in 1000<sup>mm</sup> getheilte Scale so anzuwenden, dass der Faden ungefähr mit der Mitte ihrer Länge zusammenfällt. Bei messenden Versuchen nach vorher bestimmtem Plane, deren Ergebnisse rechnend verwerthet werden sollen, mag dieses Verfahren am Platze sein. Bei qualitativen Versuchen dagegen, wo es darauf ankommt, das Ergebniss 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, dass der Faden den Nullstrich deckt. Entsprechend der oben S. 151 für die Aufstellung der Multiplicatoren gegebenen Regel ist die Anordnung getroffen, dass der Faden sich im Fernrohr über die Scale scheinbar in der Richtung bewegt, wie der Strom zwischen den Zuleitungsgefässen 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.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 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, dass er sich mit dem im Bau der Instrumente mit Spiegelablesung so erfahrenen Hrn. Inspector MEYERSTEIN verbunden habe, um ein für electrophysiologische 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 Instrument in passender Weise angebracht, wodurch die Aufstellung sehr erleichtert wird.

Sinnreich, und den Verfassern eigenthümlich, ist die Spaltung dieses Hilfsmagnetes in einen stärkeren unverrückt bleibenden, und einen schwächeren verschiebbaren, wodurch erreicht wird, dass man, um eine hinreichend kleine Abänderung der Wirkung auf den aufgehängten Magnet auszuüben, nicht, wie es sonst der Fall sein würde, einer ausserordentlich feinen Einstellung des festen Magnetes bedürftig

## §. III. Von den Zuleitungsgefässen.

[88]

Das cylindrische Glasgefäss, mit innen ange kitteter Holznase zum Unterstützen der Bäusche, wie es in meinen 'Untersuchungen' als Zu-

Die Verfasser irren jedoch, wenn sie die Anwendung eines festen Magnetes zum Astaticismachen eines beweglichen für etwas Neues halten, und Hr. 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 dies Verfahren 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.* 1810, Bd. LXIII. S. 104.) Dieses Kunstgriffes bedienten sich sodann Hr. BIOT und SAVART im Jahr 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 Jahr 1825, worin er den Multiplicator mit Doppelnadel beschreibt, führt NOBILI selber an, dass 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 vergrössern (*Archives de l'Électricité.* 1841. t. I. 656), erinnerte Hr. POGGENDORFF sogleich wieder daran, dass in Deutschland dieses Mittel bei einfachen Nadeln längst angewandt worden. (POGGENDORFF'S *Annalen u. s. w.* 1842. Bd. LVI. S. 370.) Ich selber 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. 153 angeführten Worten erhellt, mit denen nicht gemeint sein konnte, dass ich dem Spiegel selber Magnetismus nahm, da bekanntlich die Stärke des Magnetismus einer Nadel aus dem Ausdruck für die Grösse ihrer Ablenkung durch den Strom verschwindet (*Untersuchungen u. s. w.* Bd. I. S. 166. 167).

Bei dem Verdammungsurtheil, welches sie über das astatiche Nadelpaar fällen, scheinen die Verfasser die eigentliche Spitze der NOBILI'Schen Erfindung zu übersehen, den glücklichen Umstand nämlich, dass 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 dass bei ihrem Verfahren die Nadel durch den festen Magnet geschwächt wird. Da es gerade die Aufgabe ist, möglichst grosse Empfindlichkeit bei möglichst kleiner Astasie (d. h. Schwingungsdauer des Systemes) zu erzielen, so bin ich gar nicht so gewiss, ob es an Stelle der von den Hrn. MEISSNER und MEYERSTEIN getroffenen Einrichtung nicht vortheilhafter wäre, wie GAUSS selber es vor bald dreissig Jahren vorschlug (*Göttingische Gelehrte Anzeigen.* 1832. St. 206. 207. S. 2055; — POGGENDORFF'S

leitungs- [89] 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.<sup>1</sup> 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 Aeusserungen 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.<sup>2</sup> Die beiden einander berührenden Metalle mit dem die Berührungsstelle benetzenden Elektrolyten dachte ich mir als flaches Erregerpaar in dem von mir aufgestellten Sinne,<sup>3</sup> 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<sup>mm</sup> 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<sup>sc</sup>. Da aber dadurch das Kupfer, statt negativ, positiv gegen das Zink angezeigt [90] wurde, so war sie wohl thermoëlektrischen Ursprunges. Wenn also durch ein scheinbar die Grenze der Messingklemmen und Platinplatten benetzendes Tröpfchen Salzlösung eine Ungleichartigkeit

---

Annalen u. s. w. 1833. Bd. XXVIII. S. 251. Anm.), eine Doppelnadel 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 [vom Jahr 1862].)

<sup>1</sup> S. oben S. 42. Abh. IV.

<sup>2</sup> Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 218. 220.

<sup>3</sup> Ebendas. S. 581.

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 Bätuschen ist die in Fig. 1. Taf. I dargestellte,<sup>1</sup> von Hrn. SAUERWALD nach meiner Angabe verfertigte, kleine Vorrichtung; ja wer sie bisher gehandhabt hat, ist enig 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 es nur wenige Cubikcentimeter Lösung. Innen wird es mit BERJOT's Flüssigkeit<sup>2</sup> 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 [91] eine Verbreiterung des vorderen Randes des Gefässes vorstellt. Von den seitlichen Rändern des Gefässes erheben sich Wangen, welche den Bausch vollends gegen seitliche Verschiebung sichern und die Zinkoberfläche vergrössern, 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

<sup>1</sup> Der Maassstab von 0.66 bezieht sich auf die dem Beschauer zugekehrte senkrechte Kante des Gefässes.

<sup>2</sup> Comptes rendus etc. 9 Août 1858. t. XLVII. p. 273.

federt. Der hintere Rand der Wangen ist nach der Gestalt dieses Rückens ausgeschnitten. Der Bausch muss so dick sein, dass 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 Auspringen des Kautschukringes. Der untere Rand des Schildes verschiebt sich auf dem oberen Rande des Gefässes, den die Figur im Durchschnitt zeigt ( $r$ ,  $r'$ ), und zwei von jenem unteren Rande in's Gefäss ragende Zapfen ( $z$ ,  $z'$ ) verhindern, dass das Schild seitlich ausweiche. Diese Einrichtung bietet gegen die ältere den Vortheil, dass die obere Fläche des Bausches von allen Seiten her zugänglich ist. Sonst nämlich wurde dem Rückwärtsgleiten des Bausches dadurch vorgebeugt, dass man die Platinplatten aus der Flüssigkeit hob und gegen den Rücken des Bausches drückte,<sup>1</sup> 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 Zuleitungsgefässe besteht darin, dass während diese, um gleichartig zu bleiben, ausser der Arbeitszeit, ja zwischen je zwei Versuchen, sorgfältig mussten geschlossen gehalten werden, diese Nothwendigkeit bei den neuen Gefässen fortfällt. Sobald und so oft man die Vorrichtung zusammenstellt, ist sie gleichartig; sollte sie mit der Zeit etwas ungleichartig werden, so genügt erneutes Verquicken, um den besten Zustand wieder herzustellen. Die einzige Sorge ist also die, dass die Flüssigkeit in den Bauschen und Gefässen gleichartig bleibe, am sichersten gesättigt, jedoch ohne dass das Zinksalz auskrystallisire. Dazu ist nur nöthig die Vorrichtung, mit einem Vorrath ungelöster Krystalle am Boden der Gefässe, in der feuchten Kammer aufzubewahren.

[92]

## §. IV. Von den Bauschen.

Ein anderes Material zum Ersatz der Fliesspapierbäusche 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 Schmirgel-feile, welche genau die passende Art von Schneide erzeugt. Ferner pflege ich die Bäusche jetzt an dem Ende, womit sie in die Lösung tauchen,

<sup>1</sup> Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 222. Taf. I. Fig. 12.

zusammenzunähen, wie ich dies zur Befestigung des Keilbausches an den Zuleitungsbansch angegeben habe.<sup>1</sup> Dies erlaubt sie gelegentlich, wenn sie längere Zeit ruhen sollen, unter Lösung aufzubewahren, ohne dass ihre Blätter sich verschieben, auch wohl gänzlich von einander lösen. Das Aufbewahren geschieht am besten in weiten und niedrigen Standgefassen mit aufgeschliffenem Glasdeckel, wie man sich ihrer zu Gehirnpräparaten u. d. m. bedient.

#### §. V. Vom Modellirthon als Ersatzmittel der Eiweisshäutchen.

Mit den von mir sogenannten und früher empfohlenen Eiweisshäutchen hatte ich längst Ursache wenig zufrieden zu sein. Die Blase ist oft ungleich dick, fett, fault leicht und steckt das zum Aufweichen benutzte Hühnereiweiss an, so dass man die aufgeweichten Häutchen nicht vorrätzig halten kann. Das Eiweiss 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 Eiweisshäutchen schmiegen sich nicht gehörig den Bäschen an, so dass 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 Bäschen aufliegen, in raschem Wachsen begriffen, wie ich beim Untersuchen des Muskelstromes mit unpolarisirbaren Elektroden an der Spiegelbussole bald erfuhr.

[93] Es zeigte sich nämlich, dass trotz der Beseitigung der Polarisation der Elektroden der Strom stets rasch sank. Mit Hülfe des unten zu beschreibenden „Compensators“ (§. XI) stellte ich fest, dass dabei die elektromotorische Kraft in viel geringerem Maass abnahm, als die Stromstärke. Es hatte also jedenfalls auch der Widerstand des Kreises zugenommen, und dass die Zunahme die Eiweisshäutchen betraf, ging daraus hervor, dass bei deren Erneuerung der Strom ansehnlich in die Höhe ging.<sup>2</sup> Diese Widerstandszunahme der Eiweisshäutchen rührt nicht von secundärem Widerstand her, von dem bekannt ist, dass er zu seiner Entstehung grösserer Stromstärken bedarf; auch tritt sie, obschon in

<sup>1</sup> S. oben Abh. V. S. 89. Anm.

<sup>2</sup> 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 anderswo darthun werde. [Vergl. hierüber die Abhandlung: Ueber die Erscheinungsweise des Muskel- und Nervenstromes bei Anwendung der neuen Methoden zu deren Ableitung, im Archiv für Anatomie u. s. w. 1867. S. 270. — S. diese Abhandlung im zweiten Bande dieser Sammlung.]

geringerem Maass, ein, wenn man die Häutchen durch mehrere mit Kochsalzlösung getränkte Fliesspapierlagen von der Zinklösung trennt.<sup>1</sup> Ebenso wenig stammt sie von Austrocknung an der Luft her, da sie im feuchten Raume nicht ausbleibt, und überdies gerade die vom Muskel berührten Stellen der Häutchen vor der Trockniss aus diesem Grunde geschützt sind. Sondern ihre Ursache ist zu suchen in der Wasserentziehung durch die Zinklösung, die sich auch darin ausspricht, dass die Häutchen hornartig trocken und durchscheinend werden und sich stark einrollen.

Da, wie gesagt, auch die Dazwischenkunft von Kochsalzlösung diesen Uebelstand nicht ganz beseitigt, so bin ich neuerdings dazu gelangt, die Eiweisshäutchen ganz zu verwerfen. Den Ersatz, den ich dafür gefunden habe, betrachte ich als eine der glücklichsten Bereicherungen der electrophysiologischen Technik. Hr. Dr. ROSENTHAL hatte mich schon darauf aufmerksam gemacht, dass an Stelle des Eiweisses der Eiweisshäutchen sich vermuthlich eine Kochsalz- oder phosphorsaure Natron-Lösung von solcher Concentration mit Vortheil würde anwenden lassen, dass die Nerven oder Muskeln nicht davon leiden.<sup>2</sup> Seine Absicht war, damit statt der [94] Blase, sogenanntes vegetabilisches Pergament<sup>3</sup> zu tränken. Ich kam auf den Gedanken, den mir bereits von meinen Studien über secundär-electromotorische Erscheinungen und den secundären Widerstand der feuchten porösen Leiter wohl vertrauten Modellirthon damit anzukneten, der eine sehr geringe innere Polarisirung besitzt, keinen secundären Widerstand annimmt, jeder Form sich schmiegt, stets in gleicher Beschaffenheit erhalten, vor Trockniss geschützt so lange man will brauchbar aufbewahrt werden kann, endlich für 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 Eiweisshäutchen 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.<sup>4</sup> Die Vorschrift, die ich jetzt gebe ist viel einfacher; sie besteht darin, die Eiweisshäutchen und Kochsalz-

<sup>1</sup> S. oben Abh. V. S. 123. 124.

<sup>2</sup> KÖLLIKER, Verhandlungen der Würzburger physikalisch-medizinischen Gesellschaft. Bd. VII. 1856. S. 145.

<sup>3</sup> A. W. HOFMANN, Report on Vegetable Parchment, adressed to Messrs. THOMAS DE LA RUE and Co. London 1858.

<sup>4</sup> S. oben Abh. V. S. 124.

Bäusche 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<sup>mm</sup> Länge und 15<sup>mm</sup> Breite, die man wie früher die Eiweisshäutchen verwendet, um die Bäusche an den Stellen, wo man Muskeln oder Nerven aufzulegen beabsichtigt, damit zu bekleiden. (S. Fig. 1.) Diese Anordnung lässt 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 Eiweisshäutchen sie darboten, welche die an sich nicht scharfen Formen oft gebrauchter Bäusche nur noch mehr abstumpften; der Thon lässt sich vorrätzig halten, so dass man nicht mehr nöthig hat, ehe man einen Versuch anstellen kann, auf das Aufweichen der Blase im Eiweiss zu warten; endlich die thierischen Theile werden weniger angegriffen, da, wie ich mich überzeugt habe, eine so verdünnte Kochsalz- [95] lösung auf die parelektronomische Schicht am natürlichen Querschnitt von Gastrokneimien nicht merklich entwickelnd wirkt, was das Hühnereiweiss thut,<sup>1</sup> welches auch häufig eine Zuckung auslöst, wenn ein Muskel mit frischem künstlichem Querschnitt damit in Berührung gebracht wird.<sup>2</sup>

### §. VI. Von den Zuleitungsröhren mit Thonspitzen.<sup>3</sup>

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 Fliesspapier versehen, wie es in Fig. 37. Taf. IV. des ersten Bandes meines Werkes dargestellt ist, was aber mehrere Unbequemlichkeiten hatte.

<sup>1</sup> Vergl. meine 'Untersuchungen' u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 49 ff.; — Monatsberichte u. s. w. 1851. S. 387.

<sup>2</sup> [Ueber den Wassergehalt des Modellirthones in dem Zustande, wie er zu thierisch-elektrischen Versuchen dient, und über dessen Leitungswiderstand vergl. §. V der Abhandlung: 'Ueber den Einfluss körperlicher Nebenleitungen auf den Strom des M. gastrokneimius des Frosches' im Archiv für Anatomie u. s. w. 1871 und im zweiten Bande dieser Sammlung.]

<sup>3</sup> Nachträglich [1862] eingerückter Paragraph. [Man nennt die Zuleitungsröhren mit Thonspitzen in den Laboratorien mit einem ihnen von A. v. BEZOLD, damals in Jena, ertheilten Namen häufig kurz „Thonstiefelektroden.“]

Hr. CZERMAK hat kürzlich eine Vorrichtung empfohlen, welche den nämlichen Zweck zu erfüllen bestimmt ist. „Meine Zuleitungsgefässe“, sagt er, „werden durch zwei Glasspritzen dargestellt, wie man sie zu medicinischen Zwecken gebraucht, nur wird der Stempel durch eine Glasröhre ersetzt, welche vorn mit einem Fliesspapierpfropf oder einem Goldschlägerhäutchen, hinten mit einem Kork verschlossen ist. Im Innern der Röhre befindet sich concentrirte Zinkvitriollösung, durch den Kork geht ein amalgamirter Zinkdraht, der sich zu einer langen Spirale aufrollt, und aussen ist die Röhre mit Baumwollenfäden umwickelt, so dass sie als Stempel wirken kann. Die Spitze der Spritze wird durch Zurückziehen des Röhrenstempels mit frischem Hühnereiweiss gefüllt, jede Luftblase sorgfältig entfernt, und auf diese Weise eine ableitende Vorrichtung hergestellt, welche gleichartig und unpolarisierbar ist, und mit freier Hand, oder in ein nach allen Richtungen bewegliches Stativ eingespannt, ganz genau bestimmten Punkten angelegt werden kann.“

Hrn. CZERMAK'S Spritzen sind, wie man sieht, eine geschickte Abänderung der PFLÜGER'schen Eiweissröhren, wodurch diese, abgesehen [96] vom Ersatz des Kupfers in Kupferlösung durch verquicktes Zink in Zinklösung, beweglicher und besser leitend gemacht werden. Ich glaube, dass es mir seitdem gelungen ist, das Nämliche, in mancher Rücksicht noch vollkommener und einfacher, zu erreichen.

Meine Zuleitungsrohren, deren man eine, mit der Art ihrer Anstellung, in Fig. 2 Taf. III. im  $\frac{2}{3}$ -Maassstabe abgebildet sieht, wie sie Hr. SAUERWALD liefert, sind aus plattgedrückten Glasröhren geschnitten, deren Querschnitt Fig. 2 a in natürlicher Grösse 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. An einer schmalen Seite der Röhre ist ihrem oberen Ende nahe auf der Hütte ein Stiel angeschmolzt, 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 Querschnitts.

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 ausserdem 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 Bleifusses erhebt. Die Säule hat nur gerade die nöthige Höhe, so dass eine feuchte Kammer, in der man ein oder zwei Paare solcher Vorrichtungen aufstellt, deshalb noch nicht so gross wird, dass 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 Oberschenkelmuskels, oder, wie es die Figur zeigt, der Achillessehnen-Ausbreitung zu prüfen. Es versteht sich, dass 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 ebensoviele 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 schliessen, als runde Röhren von gleichem Querschnitt. Zweitens braucht man den Streifen Zinkblech nicht, wie es bei gleicher Breite desselben und bei runder Röhre von gleichem Querschnitt erforderlich wäre, zu einer Rinne zu biegen. Drittens kann man wegen der Capillarität die platten Röhren wagerecht stellen ja hintenüberneigen, ohne dass die Lösung ausfliesst.<sup>1</sup> Viertens 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, dass die Zinkplatte durch die Klemme in gegebener Höhe

<sup>1</sup> [Vergl. die Abhandlung über das Gesetz des Muskelstromes mit besonderer Berücksichtigung des *M. gastrocnemius* des Frosches. Archiv für Anatomie u. s. w. 1863. S. 545. Anm. — S. diese Abhandlung im zweiten Bande dieser Sammlung.]

festgehalten wird. Man kann dasselbe aber auch erreichen, indem man vor dem Verquicken das Zinkblech so biegt, dass 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 Fliesspapierpfropf zu schieben, welcher nicht nur das Zink vom Thone trennt, sondern auch die Diffusion der Zinklösung mit der verdünnten Kochsalzlösung im Thone verzögert.<sup>1</sup>

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 indess 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 Fliesspapierpfropf sehr verzögert. Ja man kann die zum Gebrauch fertigen Röhren mehrere Tage lang in tauglichem Zustande in der feuchten Kammer bewahren, wenn man die Thonspitzen lose mit feuchtem Fliesspapier umhüllt.<sup>2</sup> Auch der Widerstand der CZERMAK'- [98] schen Spritzen kann übrigens kein ganz beständiger sein, da die Zinklösung mit dem Wasser des Eiweisses diffundirt, und sie sind nicht frei vom Verdacht auf secundären Widerstand.

Um Anderen vergebliche Mühe zu sparen, sei noch bemerkt, dass ich versucht habe, aussen und an ihrem unteren Ende auch innen gefirnissste verquicke Zinkröhren, statt der, Zinkbleche enthaltenden Glasröhren, anzuwenden. Dies scheint nicht zu gehen wegen der Unsicherheit, dass nicht die verdünnte Kochsalzlösung des Thones durch Sprünge im Lack dennoch zur Berührung mit dem verquicken Zink gelange, wo es dann mit der Gleichartigkeit und Unpolarisirbarkeit zu Ende ist.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> [Ungleich vortheilhafter ist es, die Röhre zuerst mit Thon zu verschmieren, der mit gesättigter schwefelsaurer Zinklösung angeknetet ist. Ueber diesen Verschluss kommt dann erst der zur Berührung der thierischen Theile bestimmte, mit der verdünnten Kochsalzlösung angeknetete Thonstiefel. Vergl. die in der vorigen Anmerkung angeführten Stellen.]

<sup>2</sup> [Nach längerer Erfahrung muss ich doch gegen dies Verfahren warnen. Die Thonspitzen fallen häufig ab, und durch ungleiche Wasseranziehung in den beiden Röhren wird die Vorrichtung ungleichartig. Man bringt es übrigens leicht dahin, zwei Paar Zuleitungsröhren in zehn Minuten zusammenzusetzen und sie in derselben Zeit auseinanderzunehmen und zu reinigen, so dass sie zu neuem Gebrauche fertig sind.]

<sup>3</sup> [Man hat sich oft bei mir über mangelhafte Gleichartigkeit der unpolarisirebaren Zuleitungsröhren beschwert. Folgende Zahlen beweisen, dass die von Anderen wahrgenommenen Ungleichartigkeiten nicht meinen Einrichtungen und Vorschriften zur Last zu legen sind.]

Die am runden Compensator (s. unten §. XI) gemessene elektromotorische Kraft

## §. 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<sup>mm</sup> Länge, 250<sup>mm</sup> Breite und 230<sup>mm</sup> Höhe. So ist sie gross genug, um die Zuleitungsgefässe, und was von Hilfsvorrichtungen gewöhnlich gebraucht wird, aufzunehmen, und nicht zu gross, um sich nicht noch leicht mit Wasserdampf zu sättigen, wenn man von ihren Wänden die, an deren Durchsichtigkeit gerade nichts liegt, mit feuchtem Fliesspapier belegt, und ausserdem 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<sup>mm</sup> hohen Leisten, sodass darunter Drähte, die durch das Brett in die Kammer treten, isolirt verlaufen.

Die Kammer ist auf dem Grundbrett befestigt, aber die dem Arbeiten-

eines Paares Zuleitungsröhren, deren Thonspitzen einander berührten, betrug an zehn aufeinanderfolgenden Versuchstagen:

1 . . . . .	0·00037	Daniell
2 . . . . .	0·00022	„
3 . . . . .	0·00004	„
4 . . . . .	0·00012	„
5 . . . . .	0·00020	„
6 . . . . .	0·00012	„
7 . . . . .	0·00008	„
8 . . . . .	0·00056	„
9 . . . . .	0·00012	„
10 . . . . .	0·00015	„

Im Mittel 0·00019 Daniell.

Die mittlere elektromotorische Kraft des Nervenstromes beträgt bekanntlich etwa das 100fache des Mittels, nämlich 0·02000, nicht weniger als das 500fache des kleinsten, und noch immer das 36fache des grössten unter den obigen Werthen (Vergl. §. IV der Abhandlung „Ueber die elektromotorische Kraft der Nerven und Muskeln“ im Archiv für Anatomie u. s. w. 1867 und im zweiten Bande dieser Sammlung).

Den Widerstand eines Paares unpolarisirbarer Thonstiefelektroden hat Hr. RANKE je nach dem Feuchtigkeitszustande des Thones zu 105—112 Meilen Telegraphendraht, die Meile zu 64 SIEMENS'schen Einheiten, also zu etwa 6720—7168 S. E. bestimmt (Tetanus. Eine physiologische Skizze. Leipzig 1865. S. 26)].

den zugekehrte Wand lässt sich ganz oder theilweise entfernen, wodurch das Innere zugänglich wird. Diese Wand besteht nämlich aus zwei Spiegelscheiben, welche in der Mitte senkrecht aneinanderstossen, und sich seitlich verschieben. Da die Länge der einen Scheibe drei Viertel von der der Kammer beträgt, so kann man leicht bewirken, dass sie irgendwo zwischen sich einen Schlitz lassen, breit genug um die Hand einzuführen, ohne dass die [99] feuchte innere Luft zu einem erheblichen Theile durch trockene äussere ersetzt wird.

Die feuchte Kammer mit abzuhebendem Gehäuse, das in einer mit Wasser gefüllten Rinne steht, wie ich sie zum Aufbewahren der Zuleitungsgefässe empfahl,<sup>1</sup> kann man auch als Arbeitsraum benutzen. Sie hat jedoch den Nachtheil, dass sich über die Rinne fort den innerhalb befindlichen Gegenständen schlecht beikommen lässt, und dass der Rand des Gehäuses beim Abheben trieft. Die geringe Wasseroberfläche der Rinne macht zudem das feuchte Fliesspapier 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 muss eisenfrei sein, um unbedenklich in der Nähe des Multiplicators oder der Spiegelbussole gehandhabt zu werden.<sup>2</sup>

### §. VIII. Von den Vorrichtungen zum elektrischen Tetanisiren.<sup>3</sup>

Der Schlitten-Magnetelektromotor ist, seit ich ihn im Jahre 1849 beschrieb,<sup>4</sup> so vielfach von Physiologen und Aerzten angewendet worden,

<sup>1</sup> Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 219.

<sup>2</sup> [Noch besser ist es die feuchte Kammer an zwei Schnüren aufzuhängen und sie durch Gewichte zu aequilibriren.]

<sup>3</sup> Nachträglich [1862] eingerückter Paragraph.

<sup>4</sup> Ich habe seitdem gefunden, dass 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, dass man in Frankreich noch immer, statt dieses einfachsten und zweckmässigsten 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, dass die Ordinaten nicht

dass ihm von allen elektrophysiologischen Vorrichtungen wohl die grösste Verbreitung zukommt.

[100] Eine wichtige Veränderung des Magnetelektromotors ist neuerdings von Hrn. HELMHOLTZ angegeben worden. Da ich diese in den Monatsberichten der Akademie ausführlich besprochen habe, so verweise ich auf jene Stelle.<sup>1</sup> Dort findet sich auch das Nöthige gesagt für den Fall, dass man congruenter Wechselströme bedarf. Hier bleibt mir danach nur wenig zu erwähnen übrig.

Bei fortgesetzter Erfahrung hat es sich gezeigt, dass die Länge des Geleises, wie ich sie ursprünglich für physiologische Zwecke angab, wobei die Mittelpunkte der Axen beider Rollen höchstens 35<sup>cm</sup> von einander entfernt wurden, nicht ausreicht, indem der Oeffnungsschlag 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<sup>cm</sup> 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.<sup>2</sup> Er dient als elektromagnetische Maschine um den Nerven mechanisch zu tetanisiren.<sup>3</sup> Er lässt 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 Hülfefeder und schwach

dasselbe Verhältniss 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.

<sup>1</sup> Sitzung vom 26. Juni 1862. „Ueber den zeitlichen Verlauf der Inductionsströme“. — S. unten Abh. X.

<sup>2</sup> POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1856. Bd. XCVII. S. 641.

<sup>3</sup> HEIDENHAIN, Physiologische Studien. Berlin 1856. S. 129.

gespannter Hauptfeder zuerst mit möglichst gehobenem Contactstift gehen lässt, wobei die Zahl der Unterbrechungen nur etwa fünf in der Secunde beträgt, und dann den Contactstift allmählich senkt. Um die Zahl der Unterbrechungen einer grösseren 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. GROSSMANNersonnene,<sup>1</sup> die man den akustischen Tetanus nennen kann. Man spannt einen stark magnetisirten Stahlstab, von etwa 250<sup>mm</sup> Länge, 10<sup>mm</sup> Breite und 3<sup>mm</sup> 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, dass ihre Axe die flache Seite des Magnetes in der Gegend des Pols senkrecht trifft; die Rolle muss so nahe gebracht werden wie möglich, ohne die Schwingungen des Magnetes zu stören. Die Enden der Rollen 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 Maassen 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. GROSSMANN hat bereits die Gründe entwickelt, aus denen sich ergibt, dass 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.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Amtlicher Bericht über die 32. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte zu Wien im September 1856. Wien 1858. 4. S. 221.

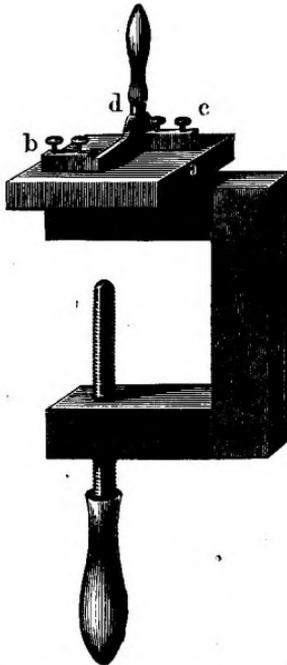
<sup>2</sup> Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. I. 1848. S. 418 ff.; — HARLESS, in den Gelehrten Anzeigen der K. bayerischen Akademie der Wissenschaften. 10. Juli 1857. Nr. 5. S. 47; — HEIDENHAIN, Studien des physiologischen Instituts zu Breslau. Heft 1. Leipzig 1861. S. 64—66. — [Bei dem höchsten Tone, den der Stab giebt, zeigt er ausser der queren Knotenlinie an der Stelle, wo er eingespannt ist, eine seine Seitenfläche der Länge nach hälftende Knotenlinie. Er schwingt also dann so dass seine Flächen windschief werden. Da seine Pole sich dabei kaum von der Stelle bewegen, und die Wirkung der einen Längshälfte nothwendig die der anderen aufhebt, so bedarf man keines weiteren Grundes, um das Ausbleiben des Tetanus unter diesen Umständen zu erklären.]

[102]

## §. IX. Vom Schlüssel.

Seit der Erfindung der Schraubenklemmen statt der Quecksilberverbindungen zur Verknüpfung von Leitungsdrähten<sup>1</sup> 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 nachstehend abgebildete Vorrichtung,<sup>2</sup> deren Form ich mit Hrn. HALSKE festgestellt habe, und die ich im Vergleich mit

Fig. 8.



dem bekannten Organ des MORSE'schen Telegraphen den Schlüssel nenne, obgleich für beide der Name Schloss passender wäre, da man in den bedenklichen Fall kommt, vom Schliessen oder Oeffnen 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

<sup>1</sup> POGGENDORFF in seinen Annalen u. s. w. 1840. Bd. XLIX. S. 39.

<sup>2</sup> 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.

Tischlerzwinde lässt sie sich überall und in jeder Lage anbringen. Hat *b* das eine, *c* das andere Ende eines Kreises aufgenommen, so schliesst und öffnet der Schlüssel den Kreis. Die Doppelklemmen erlauben aber auch ihn so anzuwenden, dass *b* und *c* an zwei Stellen des Kreises eingeschaltet sind, zwischen denen der Vorreiber eine gut leitende Nebenschliessung herstellt und abbricht.

Der Schlüssel gewährt den Vortheil, erstens, dass er stets bereit ist, keiner Reinigung und Erneuerung bedarf, wie die Quecksilber-Vorrichtung, und zweitens, dass man damit vollkommen sicher und auf annähernd gleiche Weise öffnen und schliessen kann, ohne hinzusehen. Beim Gebrauche des Schlüssels ist indess wohl zu beachten, dass sein Widerstand [103] 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 dass seine Berührung beziehlich eine mehr oder minder innige wird, so schwankt der Widerstand des Kreises ab und auf um eine kleine Grösse. Wo dies von Belang ist, thut man besser daran, beim Quecksilber zu bleiben,<sup>1</sup> es sei denn, dass man ohne Schaden den Widerstand des Kreises so vergrössern kann, dass der veränderliche Theil des Widerstandes des Schlüssels dagegen verschwindet. Bei galvanischen Reizversuchen darf man sich deshalb, wo grössere 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 schliessen und zu öffnen. Die Schwankung der Stromdichte, die dadurch entsteht, dass der Vorreiber beim Schliessen nach der ersten Berührung noch in grösserer Ausdehnung oder stärker, beim Oeffnen vor dem letzten Abreissen zuerst in kleinerer Ausdehnung oder schwächer angedrückt wird, verschwindet nicht gegen die beim Schliessen durch die erste Berührung, beim Oeffnen durch das letzte Abreissen bewirkte Schwankung, und die Stärke der Reizung wird so von der Geschwindigkeit beeinflusst, womit man den Vorreiber bewegt.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> S. die Beschreibung eines Quecksilberschlüssels in der Abhandlung X. §. I.

<sup>2</sup> 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 schliessen. Dabei zeigte sich, dass 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, Abhandlung über die Kräfte der thierischen Elektrizität

[104] 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

u. s. w. Eine Uebersetzung 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 Elektrizität u. s. w. Leipzig 1796. S. 75. 76; — PFAFF, Commentatio de Electricitate sic dicta animali. Stuttgartiae 1793. p. 13. 14. 41. 67; — Derselbe in GREN's Journal der Physik. 1794. Bd. VIII. S. 202—204. 230. 254. 272. 276; — Derselbe, Ueber thierische Elektrizität und Reizbarkeit. Leipzig 1795. S. 10. 22; — v. HUMBOLDT, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfasern u. s. w. Posen und 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 anfang 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 sie zu dem im Texte Gesagten in nahe Beziehung tritt. Nach ihm würde nämlich der Unterschied in der Stärke der Zuckungen wesentlich darauf beruhen, dass das einmal die Kette rein metallisch, das anderemal durch Berührung eines Metalls mit einem feuchten, d. h. mit einem ausserordentlich viel schlechteren Leiter geschlossen wird. Im letzteren Falle nimmt der Widerstand des Kreises vom Augenblick der ersten Berührung bis zum vollendeten Schlusse noch merklich ab, im 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 raschem 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 Kettenschluss 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, dass bei sich gleichbleibender Art der Schliessung deren Ort einen Einfluss 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.

Schlüssel anwenden, wo von einer Vorrichtung zur anderen Drähte durch das Zimmer zu führen sind, um zu verhüten, dass durch Zerren an den Drähten die Vorrichtungen erschüttert oder herabgerissen werden.<sup>1</sup>

### §. X. Vom Gebrauch des Schlüssels beim Tetanisiren [105] 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, dass 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 selber, einbüsst. 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, dass man, während die Feder spielt oder das Rad gedreht wird, den inducirten Kreis schliesst. Dabei würden

<sup>1</sup> 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 electrophysiologischer Vorrichtungen oft begangen wird, und der grosse Unbequemlichkeiten verursacht, ist der Gebrauch zu dicker Leitungsdrähte. Abgesehen von dauernden Leitungen, wozu mit Kautschuk u. d. m. isolirte Telegraphendrähte am besten sind, werden in meinem Laboratorium drei Drahtdicken geführt: Draht von 0.6mm Durchmesser für primäre Inductionskreise; von 0.4mm für die Fälle, wo thierische Theile im Kreise sind; und solcher von nur etwa 0.15mm 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-electrischen Multiplicatoren übliche mit Seide besponnene Draht. Von grösster Wichtigkeit ist, dass sämmtliche Schraubenklemmen auch den feinsten Draht sofort sicher fassen.

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. Letzteres kann entweder durch Anstossen an die Feder, oder durch Senken des Stiftes, oder endlich durch Schliessen des primären Kreises an einer anderen Stelle geschehen. Allein das Rad hat [106] 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 Nebenschliessung abzublenden, dass kein merklicher Stromzweig diese Theile trifft, und die Nebenschliessung im geeigneten Augenblick hinwegzuräumen, wo dann die Ströme in der Stärke, welche durch die übrigen Umstände des Versuches bedingt ist, in die Theile einbrechen. Die erste Art, wie ich dies in's Werk setzte, bestand darin, dass ich in jeden der beiden von der secundären Rolle kommenden Drähte ein Quecksilbernäpfchen einschaltete, und zwischen beiden Näpfchen mittels eines an beiden Enden verwickelten Kupferbügels schloss. Sollten die Ströme zugleich umgekehrt werden, so war es sehr bequem, während die Drähte der Rolle zu den Gefässen  $a$  und  $b$  des Stromwenders führten, zwischen den Gefässen  $\alpha$  und  $\beta$ , oder  $A$  und  $B^1$  den nebenschliessenden Bügel anzubringen. Der Bügel schwächt die Ströme in den thierischen Theilen dergestalt, dass 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 es von Hrn. PFLÜGER, dem es bei seinen Versuchen über den N. splanchnicus grossen Vorschub leistete, in seiner Dissertation bekannt gemacht worden.<sup>2</sup> 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

<sup>1</sup> Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 343.

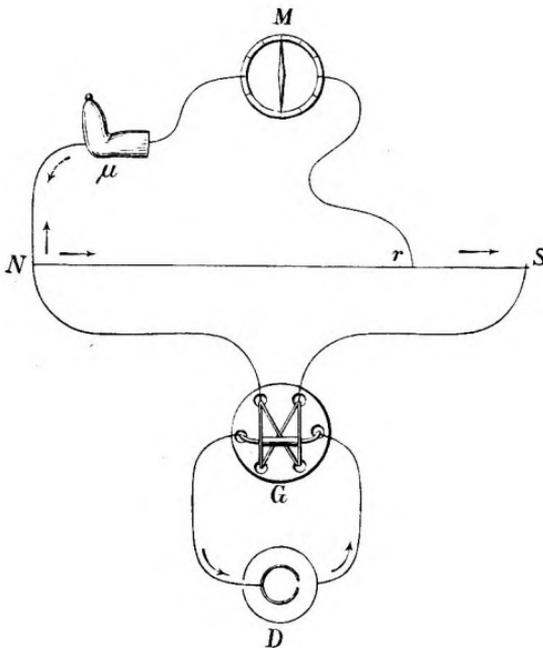
<sup>2</sup> De Nervorum splanchnicorum Functione. Berolini 1855. p. 9. 10; — Ueber das Hemmungs-Nervensystem für die peristaltischen Bewegungen der Gedärme. Berlin 1857. S. 17; — Untersuchungen über die Physiologie des Electrotonus. Berlin 1859. S. 129. — Vergl. A. v. BEZOLD, Ueber den Einfluss der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

wieder über die Nöpfchen brücken kann. Der Schlüssel in der oben beschriebenen [107] Gestalt leistet aber in diesem Fall 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 Quecksilbernöpfchen bedient. Soll die Richtung der Inductionsströme umgekehrt werden, so muss man freilich noch ausserdem 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. 9) von

Fig. 9.



etwa 2<sup>m</sup> Länge und 1·75<sup>mm</sup> Dicke ausgespannt, und dessen Enden durch einen POHL'schen Gyrotropen  $G$  mit dem Zink und Kupfer einer DANIELL'schen Kette  $D$  verknüpft. Dieser Draht heisst der Nebenschliessdraht. An dessen einem Ende  $N$  ist das eine Ende des Multiplikatorkreises  $N\mu Mr$  angelöthet. Das andere Ende dieses Kreises,  $r$ , ist an

dem Nebenschliessdraht irgendwie beweglich gemacht, sei's mit Hülfe des einfachen, von Hrn. KIRCHHOFF beschriebenen Kunstgriffes,<sup>1</sup> wobei aber der Draht wagerecht liegen muss, sei's indem man jenes Ende um den Draht, ähnlich wie die Basssaiten eines Klaviers bewickelt sind, in einer dichtgewundenen Spirale von etwa 1<sup>cm</sup> 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 [108] daran verschiebbar machen, dass man es mit dem Quecksilber im Inneren eines an jedem Ende durch einen Kork verschlossenen Stückes Glasrohr verbindet, das der Nebenschliessdraht, 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.<sup>2</sup> Welcher von diesen Anordnungen man auch den Vorzug gebe, man muss dafür sorgen, dass das bewegliche Ende  $r$  des Multiplicatorkreises seinem festen Ende  $N$  so nahe gebracht werden könne, dass der Widerstand der zwischen ihnen begriffenen Strecke des Drahtes  $NS$  gegen den des Multiplicatorkreises verschwinde. In dem Falle des zu einer federnden Hülse am Nebenschliessdraht aufgerollten Endes  $r$  muss 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 Strome des Daniells einen beliebig gerichteten, und unterhalb einer gewissen Grenze, die durch den Widerstand des Nebenschliessdrahtes bestimmt wird, beliebig starken Zweig in den Multiplicatorkreis überzuleiten. Mit seiner Hülfe 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.<sup>3</sup> Auch diente sie mir schon längst, um vor Erfindung der gleichartigen Elektroden aus verwickeltem Zink die Ungleichartigkeiten der Platinplatten unschädlich zu machen, die auch

<sup>1</sup> POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1857. Bd. C. S. 180. Taf. III. Fig. 5.

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. 1849. S. 441.

bei der sorgfältigsten Behandlung theils zurückzubleiben, theils plötzlich aufzutauchen, und den Gang der Versuche auf das Lästigste zu unterbrechen pfliegen.<sup>1</sup> Am Nerven-Multiplicator kann der Compensator in dieser Art auch bei Anwendung des verquiekten 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 grösstmögliche Empfindlichkeit, und ein deutlicheres Bild von der Grösse der Veränderung, zu erzielen. Bei den Versuchen über 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 Messwerkzeuges im Gebiete der thierisch-elektrischen Ströme zu übernehmen; indem er nämlich gestattet, Vergleichen 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 Maasskette heissen soll;

$W$  der Widerstand der diese Kette enthaltenden Leitung gemessen bis zum Nebenschliessdraht;

$L$  der Widerstand des ganzen Nebenschliessdrahtes;

$\lambda$  der Widerstand der eigentlichen Nebenleitung, d. h. des Nebenschliessdrahtes 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. 9 bei  $\mu$  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:

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

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

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

[110] und man braucht nur das Verhältniss  $\lambda : C$  zu bestimmen, oder, wenn  $L$  in Bezug auf  $W$  bekannt ist, das von  $\lambda : L$ , um das Verhältniss  $y : E$ , oder den Werth von  $y$  als Bruchtheil der elektromotorischen Kraft der Maasskette, 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.<sup>1</sup> Die Vortheile dieser Methode sind wesentlich folgende. 1. Man umgeht die Schwierigkeiten, die bei jedem anderen Verfahren aus der Polarisation der Elektroden erwachsen, dadurch dass man den Strom gar nicht zustande kommen lässt, sondern, wie Hr. POGGENDORFF sich ausdrückt, gleichsam nur die Tendenz zu seiner Entstehung misst. 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 Widerstands-Schwankungen nicht an, deren Sitz die Berührungsstelle des Nebenschliessdrahtes 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 indess die thierischen Erreger noch immer den Ketten von unbeständiger Kraft beizuzählen (vergl. oben S. 161. Anm. 2), 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 [111] bedienen, um die elektromotorische Kraft der Muskeln und Nerven mit derjenigen bekannter galvanischer Combinationen, z. B. eines Daniells, in Beziehung zu setzen.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Annalen u. s. w. 1841. Bd. LIV. S. 161.

<sup>2</sup> Hr. JULES REGNAULD hat dies mit Hülfe seines Compensationsverfahrens durch thermoelektrische Ketten zu thun angefangen (Comptes rendus etc. 15 Mai 1854. t. XXXVIII. p. 891). Hr. POGGENDORFF hat bereits mit Recht bemerkt, dass

Inzwischen ist die Erforschung dieses Verhältnisses mehr eine Sache der wissenschaftlichen Neugier, als dass sich vor der Hand wichtige Folgerungen daran knüpfen; und besonders stellt sich dies so dar, wenn man die von mir entwickelte Ansicht gelten lässt, wonach die nach Aussen gelangenden elektromotorischen Wirkungen der Nerven und Muskeln nur ein unbestimmbarer Bruchtheil der inneren Wirkungen sind.<sup>1</sup> Ohnehin werden wenige Messungen genügen, jenes Verhältniss 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 anderswo ein Beispiel gegeben habe.<sup>2</sup>

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, dass, während wir das Ende  $r$  des Multiplicatorkreises am Nebenschliessdraht verschieben, Hr. POGGENDORFF dies Ende fest lässt, dafür aber die Länge der eigentlichen Nebenleitung, deren Widerstand wir  $\lambda$  nannten, verändert bis der Strom verschwindet. Bei Hrn. POGGENDORFF bleibt also der Widerstand des die Maasskette enthaltenden Zweiges beständig. Bei uns wird dieser Widerstand stets um [112] ebensoviel vergrössert oder verkleinert, wie 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

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

derselbe Zweck weit vollkommener und bequemer durch die früher von ihm angegebene Methode erreicht werde (Annalen u. s. w. 1854. Bd. XCI. S. 628).

<sup>1</sup> Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 689.

<sup>2</sup> De Fibrae muscularis Reactione ut Chemicis visa est acida. Auctore **Ann.** DU BOIS-REYMOND. Berolini 1859. 4. p. 43. — [S. indess im zweiten Bande dieser Sammlung die Abhandlung über die elektromotorische Kraft der Nerven und Muskeln, §. XI.]

Da  $E$  und  $C$  Constanten sind, so ist  $y$ , die zu messende elektromotorische Kraft, eine lineare Function von  $\lambda$ , und zwar  $\lambda$  einfach proportional. Nicht so bei Hr'n. POGGENDORFF. Um seinen Fall mit dem unsern in Vergleich zu bringen, ist nur nöthig, sich zu denken, die Nebenleitung von veränderlichem Widerstande  $\lambda$  sei unmittelbar zwischen den Punkten  $N$  und  $S$  unseres Schema's (Fig. 9) angebracht. Nennen wir diesmal  $u$  die zu messende elektromotorische Kraft im Multiplicatorkreise, so hat die Stärke der beiden darin sich deckenden Ströme zum Ausdruck:

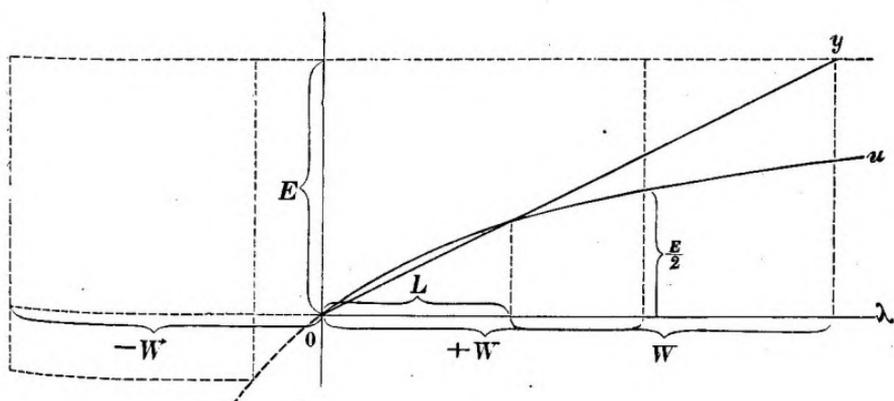
$$\frac{E\lambda - u(\lambda + W)}{W(M + \lambda) + M\lambda},$$

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  $\lambda$  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  $0 u$  in Fig. 10, worin die Gerade  $0 y$  zugleich

Fig. 10.



den Gang der linearen [113] 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 Grösse die des POGGENDORFF'schen erst für  $\lambda = \infty$  erreicht.

Es bedarf also, bei letzterem Schema, noch stets einer gewissen Rechnung, um die relative Grösse der Kraft zu finden, während in unserem Falle dazu nichts gehört, als die Messung der Strecke  $Nr$  (Fig. 9), der Entfernung der Enden des Multiplicatorkreises auf dem Nebenschliessdraht, der ja der Widerstand  $\lambda$  proportional ist. Mit einem Wort, am Nebenschliessdraht, wie wir ihn anwenden, misst sich die elektromotorische Kraft, wie das Zeug an der Elle. So viel ich weiss, ist diese merkwürdige Eigenschaft unseres Schema's bisher der Aufmerksamkeit der Elektriker entgangen.

Hr. POGGENDORFF empfiehlt die Messung so anzustellen, dass man bei einer passenden Länge der Nebenleitung den Multiplicatorkreis einen Augenblick schliesst, 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, dass man bei geschlossenem Multiplicatorkreise die Länge der Nebenleitung so lange veränderte, bis die Nadel nach dem Nullpunkt zurückkehrte. Inzwischen bleibt 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. 161. Anm. 2). Ausserordentlich bequem zeigt sich übrigens dabei, wegen der Dämpfung der Schwingungen, der Gebrauch der Spiegelbussole, so dass 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.

[114] Bereits an der vorher beschriebenen rohen Vorrichtung kann man die Längenmessung des Nebenschliessdrahtes 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 Daniell nebeneinander anzuwenden, oder noch besser, die DANIELL'sche Kette durch die GROVE'sche zu ersetzen.

Mehrere Daniell hintereinander helfen nicht viel, weil der Widerstand des Messingdrahtes schon gegen den eines Daniells nur klein ist.

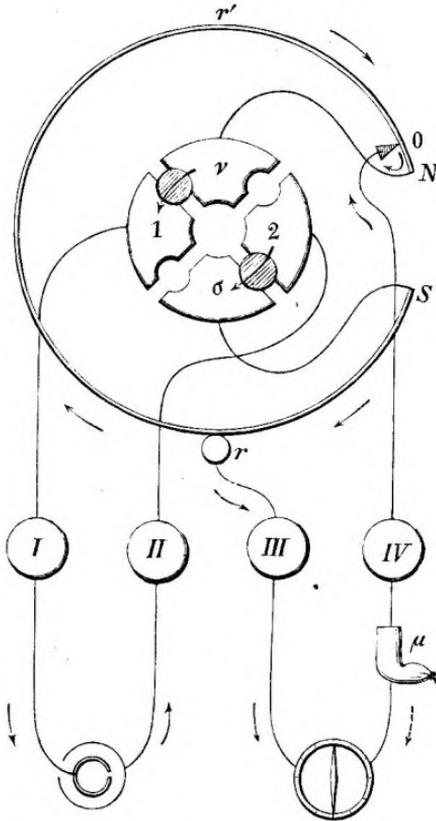
Vollkommener und bequemer wird der vorgesetzte Zweck erreicht durch das in Fig. 6 Taf. I im Aufriss und in halber natürlicher Grösse vorgestellte Instrument, welches die Werkstatt der Hrn. SIEMENS und HALSKE liefert. Diese Figur ist nur bestimmt, eine allgemeine Vorstellung von der Gestalt des Instrumentes zu geben, dessen sämtliche Theile im Einzelnen verständlich zu machen, zu viel Abbildungen erfordert hätte. Der Stromlauf in dem Instrument erhellt aus Fig. 11.

An Stelle des Messingdrahtes tritt hier ein Platindraht von 1<sup>mm</sup> Dicke bei gleicher reducirter Länge mit jenem, nämlich nur etwa 370<sup>mm</sup> lang. Anstatt diesen Draht gerade auszuspannen, das eine Multiplicatorende daran verschiebbar, und dessen Entfernung vom anderen an einer Längentheilung messbar 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 grösseren 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 [115] Längenessvorrichtungen ist, und die meiste Arbeit daran sich auf der Drehbank ausführen lässt.

In Fig. 11 ist  $NO r' r S$  der Nebenschliessdraht. Man sieht ihn in Fig. 6 Taf. I. bei  $r r'$  in einer Nuth am Umfang eines gut abgedrehten Ringes aus Kammmasse, von 65<sup>mm</sup> 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  $\nu, \sigma$  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. 11 sichtbaren Schraubenklemmen 1\*, 2\*, und durch Drähte, welche in der hohlen Axe des Instrumentes verlaufen, in Verbindung mit den Klemmen I und II an dessen hölzernem Fussgestell. Diese sind zur Aufnahme der Enden der Maasskette  $D$  bestimmt, und der Umschalter wird so gestellt, dass der im Multiplicatordraht kreisende Stromzweig der

Maasskette die entgegengesetzte Richtung des Stromes der in diesem Zweige befindlichen thierischen Kette, also z. B. des Muskels  $\mu$ , hat (s. Fig. 11). 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,

Fig. 11.



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- [116] bindung mit der Schraubenklemme III am Fussgestell, 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 Instrumentes, 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 Ausdehnung 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 Maasskette 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 besässe, diene mir folgender Kunstgriff. Es heisse der gesuchte Berührungspunkt 0, so ist klar, dass, wenn das Röllchen einen Punkt des Nebenschliessdrahtes zwischen *N* und 0 berührt, der Stromzweig der Maasskette 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 Maasskette zwei als zusammengesetzte Kette verbundene Grove'sche Elemente der grösseren Art, verband III und IV durch einen Multiplicator, und suchte die Stellung des Nebenschliessdrahtes am Röllchen auf, die sich mit äusserster Schärfe bestimmen liess, wobei der Stromzweig im Multiplicator seine Richtung wechselte. Bei dieser Stellung schraubte ich den bis dahin seitlich verschiebbaren Zeiger dergestalt fest, dass der Strich darauf mit dem Nullstrich der Theilung zusammenfiel. In der nächsten Umgebung des Punktes 0 ist es nicht zu verlangen, dass die, sonst an dem Instrument zu erwartende, einfache Beziehung zwischen *y* und der Länge der Strecke *Or* stattfinde, weil der Platindraht verhältnissmässig zu dick ist, um als linearer Leiter zu gelten. Doch scheint dieser Umstand, wie wir sogleich sehen werden, schon in sehr geringer Entfernung keinen Einfluss mehr zu üben.

Die Leistungen des Instrumentes im Versuch zu prüfen, müsste man eine Anzahl beständiger elektromotorischer Anordnungen nehmen, deren Gesamtkraft der eines Muskels etwa gleichkäme, und bei verschiedener [117] denen Widerständen im Maasskettenzweige 1, 2, 3 . . . davon im Multiplicatorzweige compensiren. Das Verhältniss der dazu nöthigen Längen des Nebenschliessdrahtes müsste dabei stets dasselbe bleiben. Als ich diesen Versuch mittels Säure-Alkali-Ketten in's Werk setzte, fand sich, dass diese durchaus nicht hinreichend beständig waren, um sie zur Prüfung eines Messwerkzeuges zu verwenden.<sup>1</sup> Thermoëlemente, gleich denen von Hrn. JULES REGNAULD, deren etwa 6 dem Strom

<sup>1</sup> [Vergl. §. VII. der Abhandlung: „Ueber die elektromotorische Kraft der Nerven und Muskeln“ im Archiv für Anatomie u. s. w. 1867 und im zweiten Bande dieser Sammlung.]

zwischen natürlichem Längs- und künstlichem Querschnitt die Wage halten (s. oben S. 179. Anm. 2), 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, dass der Widerstand des Nebenschliessdrahtes nicht proportional seiner Länge wüchse. Man braucht also, um das Instrument zu prüfen, nur irgend eine Reihe von Messungen damit anzustellen, bei denen sich ergibt, ob gleichen Längen des Platindrahtes gleiche Widerstände entsprechen oder nicht. Eine Prüfung der Art beruht auf der Bemerkung PETRINA's,<sup>1</sup> dass, 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 Maasskette im Multiplicatorkreise

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

Lässt man  $\lambda$  gegen *C* und *M* verschwinden, so bleibt übrig

$$I = \frac{E}{C M} \cdot \lambda$$

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 [118] nahe proportional sind, dass die Abweichung zu vernachlässigen ist; zwischen die Klemmen I und II aber eine mehrgliedrige GROVE'sche Säule und einen angemessenen Widerstand. Es zeigte sich, selbst innerhalb der ersten 5 Tausendtel, einer Strecke also von noch nicht 2<sup>mm</sup> vom Nullpunkte, die bestmögliche Uebereinstimmung. Dies Ergebniss war um so befriedigender, als bei dieser Art des Versuches der veränderliche Widerstand zwischen Platinröllchen und Nebenschliessdraht nicht aus der Rechnung fällt, wie bei der Anwendung des Instrumentes zum Compensiren. Es lehrt zugleich, dass, wenn man es wünschen sollte, man sich des Compensators sehr bequem bedienen kann, um die empirische Graduirung eines Multiplicators nach PETRINA auszuführen.

<sup>1</sup> POGGENDORFF'S Annalen u. s. w. 1842. Bd. LVI. S. 328. Anm.; Bd. LVII. S. 111.

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

Ein Umstand, der beim Gebrauch des Compensators Beachtung verdient, ist die Erwärmung des Nebenschliessdrahtes durch den Strom. Nimmt man als Maasskette 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, dass man den sich bald einstellenden stationären Zustand abwartet.

Dass 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, dass durch die von Hrn. HELMHOLTZ entwickelte Theorie<sup>1</sup> der thierisch-elektrischen Ströme die Bedenken endgültig erledigt sind, die ich am [119] Schlusse des ersten Bandes meines Werkes (S. 723 ff.) gegen die Anwendung der Methodé der Compensation zum Eliminiren des Widerstandes in thierisch-elektrischen Versuchen erhoben hatte.<sup>2</sup>

## §. XII. Vom Rheochord in seiner Anwendung zu elektro-physiologischen Versuchen.

Nachdem mir dergestalt die Anwendung des Principes der Nebenschliessung 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.

<sup>1</sup> POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1853. Bd. LXXXIX. S. 211. 353.

<sup>2</sup> [Weiteres über den Compensator s. in der folgenden Abhandlung (IX).]

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 Aehnliches 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, dass, wegen des grossen eigenthümlichen Widerstandes und der Kleinheit der thierischen Theile, mit metallischen Widerständen hier nichts auszurichten sei, man müsste denn solche in ganz riesigem Maassstabe entwickeln; während die Anwendung feuchter Widerstände, wie Hr. HARLESS sie versucht hat, mühsam und zeitraubend ausfällt, und leicht zu Fehlern Anlass giebt.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Der feuchte Rheostat des Hrn. HARLESS (Molekuläre Vorgänge in der Nervensubstanz. I. Abhandlung: Voruntersuchungen. Aus den Abhandlungen der K. bayer. Akademie der 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 Bedürfniss 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 Fuss hohen 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 einigermaassen beständig bleiben, oder in verschiedenen Versuchen gleiche Stromstärken denselben Rheostatenständen haben entsprechen können; wie der Einfluss 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, musste 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 algebraisch summirte, fehlte hingegen, wenn jene Spitze positiv war. Hr. HARLESS beschränkte sich aber nicht darauf, diese Vorrichtung zum Abstufen der Stromstärke zu benutzen, sondern er maass damit auch Widerstände. In Vergleich mit den bezeichneten Fehlern wird es wenig zu sagen gehabt haben, dass die Röhren nicht cylindrisch waren, und dass Hr. HARLESS, statt die Röhren zu calibriren, sich begnügte, deren mittlere<sup>er</sup>

[120] Die von mir eingeführte Abstufung der Stromstärken bei Reizversuchen mittels des Princip's der Nebenschliessung ist anzusehen, als sei an Stelle der unthunlichen Veränderung des Widerstandes die der electromotorischen Kraft gesetzt. Der Schliessdraht 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 heissen — 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 muss die Veränderung des Widerstandes des Nebenschliessdrahtes so geschehen, dass weder, wenn man diese Veränderung durch Verschiebung des einen Endes des Nervenkreises am Nebenschliessdraht bewerkstelligt, eine Trennung beider, noch, wenn man den Nebenschliessdraht selber verlängert, eine Oeffnung der Nebenschliessung zu befürchten sei. Im [121] einen Falle würde eine nicht zum Versuch gehörige, vielleicht schädliche, jedenfalls unnütze Erregung stattfinden. Im 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, dass sie bei häufigem Gebrauche den Draht angreifen. Von diesem Fehler ist die NEUMANN'sche Vorrichtung verhältnissmässig frei und verdient schon darum den Vorzug.

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

Drittens sollte der Widerstand der Nebenleitung auch wiederum so gross gemacht werden können, dass die durch den Draht bewirkte Schwächung des Stromzweiges im Nervenkreise nicht mehr in Betracht

---

Querschnitt zu bestimmen. Wenn aber Hr. HARLESS 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 (POGGENDORF's Annalen u. s. w. 1860. Bd. CX. S. 1 ff.), so ist dies gewiss nicht geeignet, das Misstrauen zu mildern, womit jeder Physiker sogar auf die erste Stelle in Hrn. HARLESS. Zahlen blicken wird.

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 deren jede allein vorhanden wäre und die elektromotorische Kraft enthielte.<sup>1</sup> Behalten wir unsere obigen Bezeichnungen mit dem Unterschiede bei, dass wir  $N$  für  $M$  schreiben, da an Stelle des Multiplicatorkreises jetzt der Nervenkreis getreten ist, und setzen wir  $L$  und  $N$  sehr gross 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

$$I_1 = \frac{EN}{\lambda N} = \frac{E}{\lambda}.$$

[122] 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 Strom aussetzen können, als ob gar keine Nebenleitung vorhanden wäre.

Viertens darf bei Stromschwankungen keine Induction im Nebenschliessdraht stattfinden, wodurch der zeitliche Verlauf des Stromes geändert würde, auf den in Reizversuchen so viel ankommt. Kann der Draht, zu grosser 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<sup>2</sup> gewickelt, den Hr. MOLESCHOTT, auffallenderweise ohne dieses wichtigen Umstandes zu gedenken, empfiehlt,<sup>3</sup> der aber in seiner jetzigen Gestalt für electrophysiologische Zwecke nicht wohl brauchbar ist, weil er nur aus Rollen besteht, folglich den Widerstand nur in Sprüngen abzustufen erlaubt.

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

<sup>1</sup> Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 572.

<sup>2</sup> SIEMENS in POGGENDORFF'S Annalen u. s. w. 1857. Bd. CII. S. 75. Taf. I. Fig. 4.

<sup>3</sup> Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. Bd. VII. 1860. S. 404; — Bd. VIII. 1861. S. 2.

Die Form der Vorrichtung, der wir bis jetzt den Vorzug schenkten, wobei die Hauptleitung immer um ebensoviel verkürzt, wie die Nebenleitung verlängert wird, lässt aus leicht ersichtlichen Gründen die Erfüllung der dritten unter diesen Bedingungen nicht wohl zu. Ohnehin büsst für den gegenwärtigen Zweck unser Schema den Vorzug ein, den es für den Zweck electromotorischer Kraftmessungen vor dem POGGENDORFF'schen Schema besitzt, wobei nur die Nebenleitung verlängert wird. Hr. PFLÜGER, dem ich im Beginn seiner electrophysiologischen Forschungen das hier in Rede stehende Verfahren mittheilte, und in dessen Händen es rasch umgestaltend in die Lehre von den Reizversuchen eingriff,<sup>1</sup> that deshalb wohl daran, bei dem Bau seines grösseren Rheochords zum POGGENDORFF'schen Schema zurückzukehren, wobei jene Bedingung leicht erfüllt wird. [123] Hr. PFLÜGER bestimmte die Länge eines 0·3<sup>mm</sup> dicken Neusilberdrahtes, welcher, bei einer zehngliedrigeren GROVE'schen Säule in der Hauptleitung, als Nebenleitung zum Nervenkreise den Strom in letzterem um nur etwa  $\frac{1}{7}$  schwächt, zu etwa 14<sup>m</sup>. Er empfand übrigens das Bedürfniss, zum Zweck feiner Abstufung sehr schwacher Ströme, noch ein kleineres Rheochord zu haben. Diesem liess er ganz meine erste Einrichtung, nur dass er daran mit der Spirale, wodurch ich das eine Ende des Nervenkreises am Nebenschliessdraht verschiebbar zu machen pflegte, den Eisendraht verband, der nur mit dem Quecksilberrohr nöthig wird; was nicht vortheilhaft erscheint, da Eisen schlechter leitet, und leichter rostet, als Messing.

Ich bin, nach vielen Ueberlegungen, im Verein mit Hrn. SAUERWALD, bei der Gestalt des Rheochords für electrophysiologische Zwecke stehen geblieben, die Taf. II. Fig. 7 im Grundriss und, bis auf die Länge des Kastens, die etwa noch einmal so stark verkleinert ist, in  $\frac{1}{3}$  der natürlichen Grösse zeigt. Es liegt dieser Gestalt, wie dem grösseren PFLÜGER'schen Rheochord, das POGGENDORFF'sche Schema zu Grunde. Die ganze Vorrichtung ist aber zu einem flachen, länglichen Kasten von nur 1178<sup>mm</sup> Länge, 175<sup>mm</sup> Breite und 52<sup>mm</sup> Höhe zusammengedrängt, so dass alle Handhabungen innerhalb der bequemen Reichweite einer sitzenden Person bleiben.

Auf dem Boden dieses Kastens, den man sich umgestürzt denken muss, verlaufen, der einen langen Seite entlang, zwei Platindrähte  $s \sigma w$ ,  $s, \sigma, w$ , von 0·3<sup>mm</sup> Durchmesser und etwas über ein Meter Länge. Jeder dieser Drähte ist zwischen einem vorderen Platinsteg  $s, s$ , und einem hinteren Elfenbeinsteg  $\sigma, \sigma$ , mittels eines Wirbels  $w, w$ , ausge-

<sup>1</sup> Untersuchungen über die Physiologie des Electrotonus. Berlin 1859. S. 121 ff.

spannt. Es schien nicht der Mühe werth den Einfluss zu berücksichtigen, den die Spannung von Drähten auf ihren Widerstand äussert, 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 Grösse abgebildet, und zwar in Fig. 7 *a* im senkrechten Durchschnitt auf die Axe der Röhren, in Fig. 7 *b* im seitlichen Aufriß, bis auf die auch hier im Durchschnitt dargestellte, dem Beschauer nähere Röhre. An dem hinteren Ende sind die [124] Röhren durch Kork verschlossen, welche von den Drähten durchbohrt werden. Vorn sind sie nach Art eines zugeblasenen Rohres gewölbt und an der Kuppe mit einer glatten Oeffnung versehen, welche die Drähte, indem sie durch sie treten, so ausfüllen, dass das Quecksilber daneben erst unter einem merklichen, auf den Kork ausgeübten Druck 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 Messingklötz mit der doppelten Schraubeklemme *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.

Dass die stählernen Quecksilberröhren vorn nicht durch einen Kork verschlossen, sondern in eine metallene Kuppe endigen, hat zur Folge, dass, 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 Fall ist der Widerstand der Nebenleitung so klein, dass, wenn nicht die Kette von ungewöhnlich grosser elektromotorischer Kraft ist, der Nerv in seinem Kreise keine Erregung erfährt. Auf alle Fälle würde es stets leicht sein, diesen Zustand dadurch herbeizuführen, dass man in die Hauptleitung einen metallischen Widerstand aufnimmt, da für  $\lambda$  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<sup>m</sup> lange Millimeterscale (Fig. 7, 0—1000) aufgeklebt. Bei der ober

beschriebenen Stellung des Schlittens steht ein daran befindlicher Zeiger  $z$  auf dem Nullpunkte der Theilung. Durch Verschieben des Schlittens nach den Stegen  $\sigma, \sigma$ , am hinteren Ende des Rheochords kann man  $2^m$  des Platindrahtes in die Nebenschliessung aufnehmen. Reicht dieser Widerstand nicht [125] aus, so lässt er sich folgendermaassen noch bis um das zwanzigfache vermehren.

Die Leitung  $\sigma, Q$  besteht aus einer Reihe von sechs parallelepipedischen Messingklötzen, die auf einer Platte von Kammmasse so befestigt sind, dass 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. Ausser 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 Oesen, wo es nöthig ist, zickzackförmig ausgespannt sind. Diese Leitungen sind in Fig. 7, gleich der Länge des Kastens in doppelt kleinerem Maassstabe als das Uebrige, punktiert gezeichnet. Die Drähte zwischen Klotz 1 und 2, und 2 und 3 ( $Ib, c$ ) haben denselben Widerstand, wie die Platindrähte, wenn  $z$  auf  $1000^{\text{mm}}$  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, Nebenschliessungen 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, dass sie nicht im Inneren des Kastens lose werden und mit einander in Berührung gerathen, wird folgendermaassen verfahren. Das eine Ende des abzapfenden 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 Oese um, wie es der Fall ist für  $Ib, Ic, II$ , so wird die Oese in die Hohlkehle eines Elfenbeinscheibchens gelegt, das [126] excentrisch an einem Wirbel sitzt (Fig. 7, 7a). Der Wirbel wird so in den Boden eingedreht, dass der

Widerstand schon ungefähr der verlangte, nur etwas kleiner ist; durch das Drehen der excentrischen Scheibe wird er dann auf das richtige Maass 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 Gesamtwiderstande des von Hrn. PFLÜGER beschriebenen grösseren Rheochords verhält sich der des unsrigen etwa wie  $1 : 0.6$ .<sup>1</sup> 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 Gesamtwertes 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; grössere Veränderungen jedoch kann man, wie an diesem Rheostat, auch nur in Sprüngen bewirken. Darin steht unser Rheochord dem grösseren 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 ihn stetig von Null bis zur äussersten 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 muss [127] man jedesmal erst wieder den Widerstand durch Zurückführen des Schlittens auf Null um eine Einheit vermindern, und ausserdem 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 ( $I a$ ), Neusilberdraht  $I b$ ,  $I c$  und  $II$ , angelangt, und er reicht nicht aus, so muss ich zuerst den Schlitten auf Null stellen und die drei Stöpsel  $I b$ ,  $I c$  und  $II$  einsetzen, dann erst den Stöpsel  $V$  entfernen, und nun noch den Schlitten

<sup>1</sup> 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 [1862].)

um die erforderliche Grösse 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 Gesamtlänge des Rheochords hergestellt werden soll, bleibt nichts übrig, als die Anordnung, bei der jene Gesamtlänge 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 muss 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, dass, wenn man sie nicht übermässig fein nimmt, abermals der Umfang der Vorrichtung ein zu grosser sein wird. Der Preis wird fast in gleichem Verhältniss mit der Zahl der beweglich überbrückten Drahtpaare wachsen u. s. w.

Diese Schwierigkeiten sind an unserem Rheochord dadurch umgangen, dass, wie man an Messinstrumenten, Mikroskopen u. d. m. eine grobe und eine feine Einstellung hat, nur ein kleiner Theil des Nebenschliessdrahtes [128] dazu bestimmt ist, eine feine Abstufung seiner Länge zu gestatten.<sup>1</sup> 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 grösste Theil des Nebenschliessdrahtes dagegen durfte, da er keine andere Bedingung zu erfüllen hat als die einen grossen 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 dieses bei gleicher Leistung handlicher, einfacher, wohlfeiler und dauerhafter nicht leicht möchte herzustellen sein, und dessen Gebrauch aus

<sup>1</sup> Ein ähnlicher Kunstgriff ist schon von Hrn. WIEDEMANN beschrieben worden. POGGENDORFF'S Annalen u. s. w. 1856. Bd. XCIX. S. 226. Anm.

den physiologischen Laboratorien sich sogar schon in die der Physiker auszubreiten beginnt.

Die Platindrähte erleiden von der glatten Mündung der Quecksilber-  
röhren keinen Schaden. Nur ganz in der Nähe der Stege  $s, s$ , sind sie  
bedroht, weil sie hier am meisten gebraucht werden, und sich eine Ab-  
weichung der Axe der Quecksilber-  
röhren 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 ab-  
zulesen 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 Uebelstande wird durch eine in einen Stöpsel auslaufende Doppel-  
klemme abgeholfen. Indem man diese Stöpselklemme statt des ersten  
Stöpsels braucht, den man, vom Widerstande Null an gerechnet, sonst  
eingesteckt haben würde, erreicht man, dass ausser ihr und den Queck-  
silber-  
röhren in der benutzten Strecke des Rheochords keine anderen als  
feste Verbindungen vorkommen.

[129] §. XIII. Von einem beim Gebrauch des Rheochords in  
Reizversuchen zu beachtenden Umstände.

Beim Gebrauch des Rheochords in Reizversuchen muss man auf  
eine besondere Erscheinung vorbereitet sein, welche sonst leicht Täu-  
schungen veranlassen kann.

Man denke sich in die Hauptleitung und in den Nervenkreis  
Schlüssel eingeschaltet, durch deren Schliessung und Oeffnung der Strom-  
zweig im Nervenkreise hergestellt und unterbrochen werden kann. Nach  
den OHM'schen Grundsätzen muss es, um Zuckung zu erhalten, ganz  
gleichgültig sein, wo man die Kette schliesst und öffnet, in der Haupt-  
leitung oder im Nervenkreise, da in beiden Fällen die beständige Strom-  
stärke, 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 be-  
stätigt zu finden. Vielmehr musste ich, um z. B. beim Schliessen und  
Oeffnen des Nervenkreises Zuckung zu erhalten, der Nebenleitung eine  
viel grössere Länge geben, als beim Schliessen und Oeffnen der Haupt-  
leitung. Mit anderen Worten, ich musste, um gleiche Erregung des  
Nerven zu bewirken, mittels des Schlüssels im Nervenkreise in diesem

Kreise eine viel grössere 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 Nebenschliessdraht benutzte ich eine Eisensaite von 0·8<sup>mm</sup> Durchmesser und etwa 2<sup>m</sup> Länge, als Kette eine DANTELL'sche von mittlerer Grösse. Schloss und öffnete ich die Hauptleitung, so erfolgte Zuckung schon bei wenigen Centimetern Länge der Nebenleitung, während manchmal die ganze Länge des Nebenschliessdrahtes nicht ausreichte, um beim Schliessen und Oeffnen 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- [130] mung des Nebenschliessdrahtes die Ursache des Unterschiedes sein, da diese vielmehr im entgegengesetzten Sinne wirkt. Wird die Hauptleitung vor dem Nervenkreise geschlossen, so ist der Nebenschliessdraht 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 Schliessen 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 Ueberlegung, dass es die Polarisation an den Platinblechen der anfänglich zur Erregung benutzten stromzuführenden Vorrichtung war, worauf jener Unterschied beruhte. In der That wird letzterer unmerklich, sobald man die Platinbleche durch unpolarisirebare Elektroden aus verquiktem Zink in Zinklösung ersetzt, ja er kehrt sich sogar zuweilen um, so dass 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 folgendermaassen.

Schliesst man die Hauptleitung nach dem Nervenkreise, so bricht in letzteren der Zweigstrom in seiner vollen, durch das Verhältniss der Widerstände bedingten Grösse ein. Oeffnet man die Hauptleitung, so hört im Nervenkreise freilich nur der durch die Polarisation auf das Aeusserste geschwächte Strom auf. Allein ihm folgt auf dem Fusse, 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 Polarisationsstrom gleichen sich im Nu die Ladungen zum grössten Theile ab, so dass, wenn man den Schlüssel in der Hauptleitung wieder schliesst, dasselbe Spiel von vorn beginnt.

Schliesst man dagegen den Nervenkreis nach der Hauptleitung, so wird das erste Mal freilich die Stromstärke die nämliche sein wie beim Schliessen der Hauptleitung nach dem Nervenkreise. Weil aber beim Oeffnen des Nervenkreises den sich alsbald entwickelnden Ladungen die Gelegenheit zur Abgleichung genommen wird, so bleibt erstens die Oeffnung selber vergleichsweise wirkungslos, zweitens wird auch für eine binnen nicht allzu- [131] langer Frist darauf folgende Schliessung die Stromstärke nicht wieder hergestellt.

Dass die Polarisation hier im Stande ist, einen so bedeutenden Unterschied zu bewirken, wird verständlich aus der grossen 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, dass, bei vollkommener Gleichartigkeit der Platinelektroden, wirklich die Schliessungszuckung vom Schlüssel im Nervenkreise aus bei derselben Länge der Nebenleitung auftritt, 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 Schliessungszuckung erfolgt und dann meistens keine wieder, so erhält man bei der ersten rohen Untersuchung den Eindruck jener ungeheuren Ueberlegenheit 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 Schliessung und Oeffnung im Nervenkreise vorzunehmen, um nicht Täuschungen durch den Polarisationsstrom ausgesetzt zu sein, zweitens, unter keinen Umständen die Erscheinungen beim Schliessen und Oeffnen des Nervenkreises mit denen beim Schliessen und Oeffnen der Hauptleitung in Vergleich zu bringen.

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

Mit wie grosser Wahrscheinlichkeit das von mir sogenannte allgemeine Gesetz der Nervenregung durch den Strom aus der Gesamtheit

der Thatsachen hervorging, die ich im ersten Bande meiner 'Untersuchungen'<sup>1</sup> dafür beibrachte, so hatte ich es doch an einem ganz unmittlbareren Beweise dafür fehlen lassen. In der That gebrach es mir zu jener Zeit an [132] einem Mittel, um eine positive oder negative Stromschwankung von passender Grösse und nach Willkür zu beherrschender Geschwindigkeit hervorzubringen. Zwar erschien mir schon damals die Ein- oder Ausschaltung von Widerständen nicht als das einzige brauchbare 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.<sup>2</sup> Was mich aber verhinderte, diesem Gedanken Folge zu geben, war erstens, dass ich mir auch sogleich vorsetzte, die Verlängerung der Nebenleitung mit gleichförmiger Geschwindigkeit zu bewirken, zum Zweck, eine lineare Stromschwankung und damit ein wichtiges Hilfsmittel zur Zergliederung des Erregungsvorganges zu gewinnen; zweitens, dass 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, müsste 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 diesen Apparat, wie ihn Hr. SAUERWALD nach meiner Angabe gebaut hat, im Grundriss und in halber natürlicher Grösse, Fig. 8 a einen Theil davon im seitlichen Aufriss und in  $\frac{2}{3}$  der natürlichen Grösse.

Ein eichenes Grundbrett trägt zwei messingene Winkelstücke *O* und *U*, zwischen denen als Nebenschliessdraht eine  $0.2 \text{ mm}$  dicke Eisenseite *n s* ausgespannt ist.

Daran verschiebt sich das stählerne Quecksilberrohr *QR*, dessen Deckel *R* abzuschrauben geht. Die Oeffnungen für den Nebenschliessdraht an beiden Enden des Rohres sind mit Kork gefüttert. Um das Rohr zu füllen, wird das Grundbrett aufgerichtet, so dass das Ende *Q* des Quecksilberrohres nach unten sieht. Es wird so viel Quecksilber eingefüllt, dass [133] es beim Aufschrauben des Deckels *R* aus den capillaren

<sup>1</sup> A. a. O. S. 262—272.

<sup>2</sup> A. a. O. S. 272. 273. Anm.

Oeffnungen spritzt. Da beim Gebrauch Quecksilber verloren geht, muss von Zeit zu Zeit welches nachgefüllt werden.

Das Quecksilberrohr gleitet auf einem Schlitten zweien stählernen Führungsdrähten  $f d, f, d$ , entlang, die jederseits vom Nebenschliessdraht 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 Winkelstück zu entfernen. An jedem Winkelstücke kann mittels eines Stechers  $\sigma, \sigma$ , der federnde Haken niedergedrückt, und dadurch der Schlitten freigegeben werden.

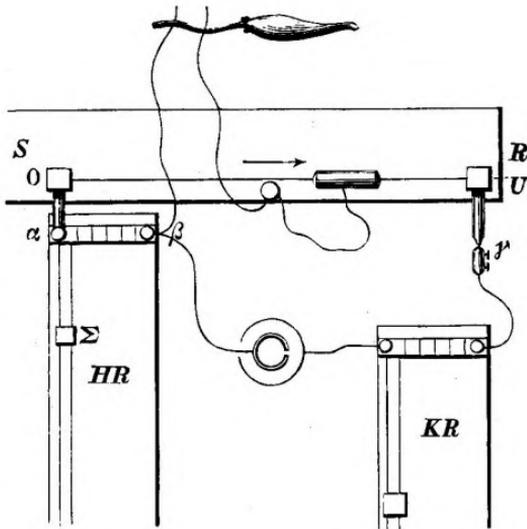
Die Bewegung des Schlittens zum Zweck der Stromschwankung erfolgt stets in der Richtung des Pfeiles von *O*, dem oberen, zu *U*, dem unteren Winkelstück, oder, wie wir jetzt sagen wollen, Anschlag. Sie kommt zu Stande durch die Zusammenziehung des vorher ausgedehnten Kautschukschlauches *KS*, der durch 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 gross 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 Nebenschliessdrahtes und der Führungsdrähte hinab, je nach der Spannung des Schlauches mit grösserer oder geringerer Ge- [134] schwindigkeit. Ueberschreitet diese eine gewisse Grenze, so wird der Schlitten vom Haken am unteren Anschlage eingefangen, so dass er dem Anschlage gleich fest anliegt. Jene Grenze wird beiläufig schon erreicht, wenn auch der Schlauch ziemlich früh aufhört dem Schlitten Geschwindigkeit mitzutheilen, so dass die übrige Bahn nur kraft der Trägheit durchlaufen wird. Die Verschiebung des Schlittens von Anschlag zu Anschlag beträgt 300 mm. Der Ring *r r*, 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. 180. Anm.). Endlich an jedem der Anschläge ist zu einem gleich zu erwähnenden Zweck ein starker Kupferbolzen  $b$ ,  $b$ , angelöthet.

Fig. 12 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

Fig. 12.



Rheochord,  $HR$  dagegen ein gewöhnliches Rheochord, welches hier das Hilfsrheochord genannt wird,  $KR$  ein zweites solches Rheochord, das Kettenrheochord. Die Kette (einen Grove) und das Nervenmuskelpräparat erkennt man leicht. Letzteres ist in dem feuchten Raume des PFLÜGER'schen Myographions aufgestellt, wo ihm der Strom durch ein Paar meiner unpolarisierbaren Zuleitungsröhren mit Thonspitzen zugeführt wird. Im Nervenkreis hat man sich noch einen Stromwender eingeschaltet zu denken. Die eine Klemme des Hilfsrheochords  $\alpha$  ist mit dem Bolzen  $b$ , am oberen Anschlag verbunden. Steht der Schieber  $\Sigma$  des Hilfsrheochords auf Null, und der Schlitten am oberen Anschläge, so verschwindet die Stromdichte im Nerven, da die Nebenleitung nur ver- [135] schwindende Widerstände, den oberen Anschlag in Berührung

mit dem Quecksilberrohr, den Kupferbolzen, die durch den Schieber und die Stöpsel verbundene Reihe der Messingklötze des Hilfsrheochords bis zu dessen zweiter Klemme  $\beta$ , 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 Nebenschliessdrahtes bedingt ist. Von dem Schliessen einer Kette, wodurch dieselbe Stromdichte im Nerven erzeugt würde, unterscheidet sich der Vorgang nur durch die grössere Langsamkeit, mit der jener Grenzwert 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, dass die Stromschwankung nicht von Null, sondern von einer beliebigen bereits im Nerven vorhandenen Stromdichte ausgehe. Dies geschieht einfach dadurch, dass der Widerstand des Hilfsrheochords entfaltet wird.

Um statt einer positiven eine negative Stromschwankung zu erhalten, ist nichts nöthig, als die beiden Verbindungen  $\alpha$  und  $\gamma$  mit einander zu vertauschen. Der obere Anschlag wird durch das Kettenrheochord mit der Kette, der untere durch seinen Kupferbolzen  $b$  mit der Klemme  $\alpha$  des Hilfsrheochords verbunden. Steht der Schieber des Hilfsrheochords auf Null, so hebt jetzt die Schwankung bei der Stromstärke an, die dem Widerstande des Nebenschliessdrahtes entspricht, und diese Stromstärke wird durch die Schwankung auf Null gebracht. Die negative Schwankung ist in diesem Falle der Oeffnung einer Kette zu vergleichen, die in dem Nerven die gleiche Stromdichte unterhalte, nur dass die Dichte langsamer und nach einem anderen Gesetze sinkt. Entfaltet man aber den Widerstand des Hilfsrheochords, so lässt die negative Schwankung eine immer grössere 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 [136] damals gestellt, aber nicht zu lösen gewusst hatte, der nämlich zu bestimmen, welchen Einfluss auf die Grösse der durch eine gegebene Stromschwankung bewirkten Erregung die absolute Höhe der Ordinaten übt, zwischen denen die Schwankung stattfindet; oder mit anderen Worten, ob die Grösse der Erregung, welche durch eine Veränderung der Stromdichte bewirkt wird, auch noch Function dieser

Stromdichte selber 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.<sup>1</sup>

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, dass er die Nebenrolle einer Inductionsvorrichtung in den Kreis aufnahm.<sup>2</sup> 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 Ergebniss, dass bei grösserer 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,<sup>3</sup> wie mir scheint, nicht volle Gerechtigkeit widerfahren lässt, dahin ab, dass er die Nebenrolle der Inductionsvorrichtung in den Nervenkreis des Rheochords brachte. Es gelang ihm nachzuweisen, dass die Erregung durch eine sich gleichbleibende Stromschwankung in Bezug auf die absolute Stromdichte ein Maximum hat. Wählt man eine solche Stromschwankung, dass sie bei der Stromdichte Null im Nerven keine Zuckung bewirkt, so erhält man Zuckung durch dieselbe Stromschwankung, wenn [137] die Stromdichte eine gewisse Grösse erreicht; bei grösserer Stromdichte verschwindet wieder die Zuckung.

Dies Ergebniss erklärt Hr. PFLÜGER daraus, dass der Indifferenzpunkt, der nach seiner grossen Entdeckung die intrapolare Strecke in eine Strecke erhöhter und eine solche herabgesetzter Erregbarkeit scheidet, mit wachsender Stromdichte von der Anode zur Kathode wandert, so dass fast die ganze intrapolare Strecke sich bei geringer Stromdichte im Zustand erhöhter, bei grosser in dem herabgesetzter Erregbarkeit befindet. Die totale Erregbarkeit der intrapolaren Strecke, d. h. nach Hrn. PFLÜGER der Integralwerth der Erregbarkeiten sämmtlicher Längendifferentiale jener

<sup>1</sup> Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 293 ff.

<sup>2</sup> Beiträge zur Anatomie und Physiologie. Giessen 1858. 4. S. 28.

<sup>3</sup> Untersuchungen über die Physiologie des Electrotonus. Berlin 1859. S. 24. 394.

Strecke, hat somit ein Maximum in Bezug auf die Stromdichte, welchem ein Maximum der Erregung entspricht.<sup>1</sup>

Unstreitig reicht diese Erklärung aus; man kann jedoch bezweifeln, dass damit die Erscheinung erschöpfend zergliedert sei. Die Erregung, für die uns die Zuckung ein ungefähres Maass abgiebt, ist um so grösser, je grösser die Erregbarkeit und je grösser der Reiz. Ich hatte mir, als ich die obige Frage stellte, ersteren Factor beständig gedacht. Wir wissen jetzt durch Hrn. PFLÜGER, dass 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, dass, wenn man mit einer congruenten Stromschwankung bei verschiedener Stromdichte reizt, sich, ausser der Erregbarkeit, auch noch der Reiz, oder die Anregung zur Bewegung, die in dem Uebergang 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 indess sie beantwortet zu haben, zeigen diese Versuche meiner Meinung nach vielmehr, dass 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 [138] Stromdichte auszumitteln, müsste man untersuchen, ob z. B. die Erhöhung der Erregbarkeit, die man bei einer gewissen Stromdichte beobachtet, für den elektrischen Reiz ebenso gross 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, dass 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 Schluss gerechtfertigt, dass 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

<sup>1</sup> A. a. O. S. 397.

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 Einfluss der Stromdichte auf die Erregung durch congruente Stromschwankungen geeignet scheinen. Dazu ist nur nöthig, dass die Schwankung bei verschiedener Höhe der Ordinaten, zwischen welchen sie stattfindet, dieselbe absolute Grösse behalte; was dann zutrifft, wenn der Widerstand der Nebenleitung, d. h. des Nebenschliessdrahtes und des Hülfsreheochords, verschwindet gegen den der beiden anderen Leitungen: des Nervenkreises, was von selber der Fall sein wird, und des Kettenkreises, was mit Hülfe des Kettenreheochords, nöthigenfalls noch anderer Widerstände, auch stets leicht zu bewirken sein wird. Der Vorzug unserer Versuchsweise vor der durch Hrn. PFLÜGER vervollkommeneten ECKHARD'schen könnte aber darin erblickt werden, dass, 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 erstere die Stromdichte erhöht, letztere sie erniedrigt zurücklässt; was ein Hilfsmittel mehr zur Zergliederung der Erscheinungen abgiebt.

Inzwischen hat das Schwankungsreheochord die Hoffnungen, die ich darauf setzte, bisher nicht erfüllt. Die Versuche daran sind von eigen-[139] thümlichen Schwierigkeiten umgeben, die zu überwinden mir erst zum Theil gelungen ist.

Es zeigt sich nämlich der unerwartete Umstand, dass sehr leicht Zuckungen entstehen, wenn bei geschlossener Kette der Schlitten irgendwo am Nebenschliessdraht 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 muss 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 Nebenschliessdraht und der Wand des Quecksilberrohres; obschon dies dabei von Quecksilber strotzen kann, und obschon man glauben sollte, jener Widerstand, mithin auch dessen Schwankungen, müssten vor dem des Nervenkreises verschwinden. Auch weiss ich nicht mit Bestimmtheit zu sagen, wie diese Schwankungen zu Stande kommen. Ich kann nur daran erinnern, dass Hr. SIEMENS zwischen eisernen Cylindern, die er in Quecksilber tauchte, und letzterem, einen sehr grossen Widerstand gefunden hat, der wahrscheinlich auf einer an der Ober-

fläche 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;<sup>1</sup> und ich stelle mir vor, dass in unserem Falle eine ähnliche, Eisen und Quecksilber von einander trennende Gasschicht im Augenblick der Erschütterung sehr schnell durchbrochen wird und wieder zusammenfließt.

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 musste alsdann, bei der Kürze des Nebenschliessdrahtes, um noch hinlängliche Stromdichte im Nerven zu erhalten, in jenem Draht eine solche Stromstärke hergestellt werden, dass er fast erglühte. Es schien mir beiläufig, als ob die Erwärmung des Drahtes an und [140] 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, dass danach die Erschütterungszuckungen fast ganz verschwanden. Auch stellten sie sich stets erst oberhalb einer gewissen Stärke des Kettenstromes ein, so dass 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 Strom erhält man Zuckung sowohl durch positive als durch negative Schwankung bei geeigneter Stromstärke und Geschwindigkeit des Schlittens. Diese letztere muss 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 lässt, durch negative Schwankung,

---

<sup>1</sup> POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1860. Bd. CX. S. 11. Anm. — [Die Hoffnung ist demnach gering, dass vielleicht mit Platindraht die Erschütterungszuckungen geringer ausfallen oder ausbleiben würden. Doch hätte der Versuch nicht versäumt werden müssen.]

wenn der Strom dadurch auf Null zurückgeführt wird. Sehr selten ist es mir geglückt, eine Verstärkung der Zuckung dadurch zu bewirken, dass ich den Schieber des Hülsrheochords um wenige Centimeter von seinem Anschlag entfernte. Dagegen gelingt es ausnahmslos, durch weitere Entfaltung des Hülsrheochords die Zuckung zu schwächen oder zum Verschwinden zu bringen; ein Ergebniss, 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, dass 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.<sup>1</sup>

[141] Hr. ROSENTHAL hat mich darauf aufmerksam gemacht, dass das von Hrn. HELMHOLTZ entwickelte Gesetz, wonach der galvanische Strom in einem Kreise ansteigt, der eine Inductionsrolle enthält,<sup>2</sup> ebenfalls benutzt werden könnte, um den Einfluss zu ermitteln, den die verschiedene Steilheit der Ansteigungcurve auf die Erregung übt.

### §. XV. Vom Zuckungstelegraphen.

Wer über allgemeine Physik der Nerven und Muskeln vor einer grösseren Versammlung vorgetragen hat, weiss, dass 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 abzuhelpfen, entstand während der Vorträge, die ich im Frühjahr 1855 in der *Royal Institution* hielt, die nachstehend beschriebene, Taf. I. Fig. 9 im seitlichen Aufriss und in halber natürlicher Grösse dargestellte, sehr einfache aber nützliche Vorrichtung, die ich den Zuckungstelegraphen nenne und seitdem in dem betreffenden Theil meiner Vorlesungen fortwährend mit grossem Vortheil angewendet habe. Diese Vorrichtung ist somit ursprünglich mehr für den Hörsaal, 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 mittel-

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

<sup>2</sup> POGGENDORFF'S Annalen u. s. w. 1851. Bd. LXXXIII. S. 510. 511.

bar oder unmittelbar gereizt werden soll, mit oder ohne Ischiadnerv, besteht.<sup>1</sup>

[142] Das Oberschenkelbein dieses Präparates wird von einer Messingzange gefasst, 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, *Fahne* genannt, auf einem Schlitten  $\sigma$ , 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<sup>mm</sup>, die andere von 15<sup>mm</sup> Halbmesser, die erstere bestimmt für unser gegenwärtiges Präparat, die letztere für einen anderen, unten zu bezeichnenden Fall. In der gerade benutzten Hohlkehle 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 gepressten Eimer mit Schrot. An der Rolle ist ein Zeiger befestigt, der eine runde, an der Rückseite roth oder blau angestrichene Glimmerscheibe von 43<sup>mm</sup> Durchmesser trägt. Dies ist die *Fahne*. Sie spielt vor einem gleich breiten Quadranten von weiss lackirtem Blech, so dass man nicht allein ihre Bewegungen gegen den hellen Grund leichter sehen, sondern

<sup>1</sup> Folgendermaassen 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, fasst nun das Präparat an der Fusswurzel, 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 [besser eine Korkplatte] und bringt mit einem spitzen Scalpell darin einen Längsschlitz an.

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, solche Spannung giebt, dass die Fahne den Anschlag  $a$ , oder die wagerechte Lage, eben verlässt, wird jeder Zuckung des Muskels eine Hebung der Fahne entsprechen, die Zuckung weithin sichtbar machen, auch nach ihrer [143] Grösse und Heftigkeit deren Stärke einigermaassen zu beurtheilen erlauben. Beim Tetanus stellt sich die Fahne unbeweglich senkrecht in die Höhe, bei dessen allmählichem Nachlassen sieht man sie ebenso allmählich herabsinken u. s. w.

Mit Vogeldunst gefüllt wiegt der Eimer 75<sup>grm</sup>. Natürlich steht nichts seiner Vergrösserung entgegen. Indem man ihn nur zum Theil anfüllt, oder ihn ganz fortlässt und auch das Moment der Fahne noch durch das Laufgewicht  $\lambda$  aufhebt, kann man die zur Hebung der Fahne nöthige Leistung des Muskels beliebig verkleinern. Doch ist zu bemerken, dass 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 zweckmässig, Zange und Fahne auf getrennten Gestellen, ähnlich dem allgemeinen Träger,<sup>1</sup> zu haben.

Soll der Muskel unmittelbar gereizt werden, so wird der eine Draht in die Klemme  $s_2$  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 Grösse, also im doppelten Maassstabe des Uebrigen, 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. 174. Anm.) eingeklemmt. Dieser führt zunächst zur Schraubenklemme  $s_{III}$ , 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 lässt sich z. B. daran der mechanische Tetanus nach HEIDENHAIN darstellen (s. oben S. 169). Für

<sup>1</sup> Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 448. Taf. III. Fig. 19.  
E. du Bois-Reymond, Ges. Abh. I.

die unmittelbare chemische oder kaustische Reizung bedarf es stärker vergrößernder Mittel, und einer Anordnung, wobei der Querschnitt zugänglich bleibt. Hier tritt an die Stelle des Zuckungstelegraphen die in der folgenden Num- [144] mer beschriebene Vorrichtung. Diese dient auch für die Zuckung durch Zerschneiden des Muskels. Um die Reizung durch sonstige mechanische Misshandlung zu zeigen, bleibt nichts Anderes übrig, als frisch zugerichtete Froschmuskeln mit Secirnadell 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, dass 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 grössere Erregbarkeit des Nerven im Vergleich zum Muskel bei gleicher Stromdichte nach Hrn. ROSENTHAL'S Angabe,<sup>1</sup> indem man den unmittelbar zu reizenden Muskel, dem der Strom des Schlitten-Magnet-elektromotors 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 lässt. 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 grossem Halbmesser am Wirtel der Fahne dient, um die Abhängigkeit des Hubes und der Kraft der Muskeln von ihrer Länge und Dicke zu veranschaulichen. Man lässt 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, dass jene Muskeln den leeren, oder nur wenige Schrotkörner enthaltenden Eimer so hoch heben, dass 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, dass die Fahne nur eben zuckt.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MOLESCHOTT'S Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. 1857. Bd. III. S. 185.

<sup>2</sup> [Hr. SIGMUND EXNER hat neuerlich diesen Versuch in etwas anderer Anordnung gleichfalls als 'Schulversuch aus der Muskelphysiologie' beschrieben. Wiener Sitzungsberichte, 23. Juli 1874. Bd. LXX. 3. Abth. S. 155.]

[145] §. 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,<sup>1</sup> einer grösseren 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<sup>cm</sup> langer, von einem Ende zum anderen verjüngter Glasfaden gestossen, der bestimmt ist, fühlhebelartig die Zuckung zu vergrössern. 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. vorige Seite), kann man sich dieser Vorrichtung auch für die kaustische Reizung bedienen; und beim Herstellen eines neuen Querschnittes erfolgt jedesmal eine ausgiebige Bewegung des Fähnchens.

[146] §. XVII. Von der feuchten Reizungsröhre.

In allen Fällen, wo der Gastroknemius mittelbar gereizt werden und das Präparat lange leistungsfähig bleiben soll, ohne dass man zugleich wünscht, mit dem Orte der Erregung am Nerven zu wechseln, und ohne

<sup>1</sup> Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 215.

dass es auf die Polarisation ankommt, empfiehlt sich die in Fig. 11. Taf. II perspectivisch<sup>1</sup> 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, dass 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 Trockniss geschützt sei, beruht in vielen Fällen darauf, dass man auch den Muskel in den feuchten Raum aufnehmen will. Bei der feuchten Reizungsröhre ist dies aufgegeben, und nur der Nerv wird vor der Trockniss geborgen.

Die Röhre ist etwa 60<sup>mm</sup> lang, im Lichten 6<sup>mm</sup> weit, an dem vorderen Ende aber in eine kurze Spitze von nur 1·5<sup>mm</sup> 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<sup>mm</sup> 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 grössere 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. 165) erst noch um einen Elfenbeinknopf an der Hülse des Armes gewickelt. Um die Reizungsröhre 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, dass deren vordere engere Mündung in Einer Höhe mit der Eintrittsstelle des Nerven liegt, und dass, 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 herabhängt, wird an

<sup>1</sup> Der senkrechte Durchmesser der Grundfläche des Holzkegels hat natürliche Grösse.

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 Maasse, wie man den Nerven in die Röhre zieht, dreht man sie dem Muskel zu, so dass, wenn der ganze Nerv in der Röhre steckt, die seine Insertion umschliessende engere Mündung an den Muskel stösst und sich in das Bindegewebe der Kniekehle eindrückt. Dadurch ist hier ein ausreichender Verschluss gegeben, und wird die hintere weitere Mündung der Röhre mit einem Kork verschlossen, so ist der Nerv vor Trockniss gesichert, da er ohne merklichen Verlust an Feuchtigkeit den nur etwa 1.5<sup>ccm</sup> betragenden Raum der Röhre bei der gewöhnlichen Temperatur mit Wasserdampf sättigen kann. Demgemäss 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, dass 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 Einfluss 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, dass man mit der erregten [148] Strecke wechseln, auch mehrere Strecken gleichzeitig erregen kann. Sie besteht aus einem gestreckt parallelepipedischen Gutta-percha-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 Trockniss geschützt.<sup>1</sup>

#### §. 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

<sup>1</sup> [S. unten Abb. XI. §. II. Anm.]

Versuchen am Zitterwels bediene.<sup>1</sup> Doch tritt dabei an Stelle eines optischen Signals ein akustisches, indem der Gastrokniemus, anstatt einer Fahne, einen Hammer hebt, der an eine Glocke schlägt (s. Fig. 13, S. 218). Die Klemmen der Reizungsröhre sind mit zwei Zinnplatten verbunden, die an einander gegenüber liegenden Punkten des Umfanges der Versuchswanne<sup>2</sup> versenkt werden. Von jedem Schläge, den der Fisch erteilt, welches auch seine Stellung in der Wanne sei, geht bei dieser Anordnung erfahrungsmässig 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 Gewissheit hat, wenn im Versuchs-kreise eine erwartete Wirkung ausbleibt, da man nicht weiss, ob man nicht dem Schlag etwas Unmögliches zugemuthet hat. Durch den Froschwecker erfährt man auch, dass der Fisch nicht selten ohne äussere 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 schliessen, dass der Fisch mehr als einmal geschlagen hat. Wie oft er aber in der That schlug, lässt sich nicht mit Sicherheit bestimmen. Das Ertönen der Glocke zeigt nur an, dass die Zusammenziehung rasch eine gewisse Grösse über- [149] 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 Schlag 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.

<sup>1</sup> Monatsberichte u. s. w. 1858. S. 95. — Vergl. die Abhandlung über den Zitterwels im zweiten Bande dieser Sammlung.

<sup>2</sup> Eine flach cylindrische Wanne aus Gesundheitsgeschirr von 11" Durchmesser und 5" Tiefe, die so viel Wasser enthält, dass der Rücken des Fisches eben bloss liegt.

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 zu 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, ihn 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,<sup>1</sup> welche Belegungen die Enden des Versuchskreises dar- [150] stellen. Die Beantwortung dieser Frage setzt vier Versuche voraus, bei denen die elektromotorische Thätigkeit des Fisches muss für beständig gelten können, damit ein Schluss aus deren Ergebnissen zulässig sei. Sonderbarerweise findet sich diese Schwierigkeit meines Wissens bei keinem früheren Beobachter erwähnt. Dagegen ist sie Hr. ECKHARD, bei seinen in Triest am Zitterrochen angestellten Versuchen, fast zur nämlichen Zeit aufgestossen, wo ich hier, im Herbst 1857, damit zu kämpfen begann. Hr. ECKHARD hat sie dadurch umgangen, dass er nicht am lebenden Thier, sondern an einem noch im Besitze der Lebens-eigenschaften verharrenden Präparat experimentirte, an dem das Organ nur auf Reizung der elektromotorischen Nerven schlug.<sup>2</sup> Da ich auf das lebende Thier angewiesen war, musste 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 dessen, alsdann aber nach einer, wenigstens für mehrere auf einander

<sup>1</sup> Monatsberichte u. s. w. 1858. S. 97. 103. 104. — Vergl. die Abhandlung über den Zitterwels im zweiten Bande dieser Sammlung.

<sup>2</sup> Beiträge zur Anatomie und Physiologie. Bd. I. Giessen 1858. 4<sup>o</sup>. S. 166.

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 Absperrn 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 Nervenmuskelpräparat 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 Versuchs-kreise zu werden; und so entstand die Fig. 12. Taf. III. perspectivisch abgebildete Vorrichtung,<sup>1</sup> die Hr. SAUERWALD nach meiner Angabe ausführte.

[151] Auf einem viereckigen Fussbrett, 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 Rand 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 Rothguss *aa, hpq* 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 Oeffnung 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 heisst die Stützplatte. Die zweite, am Ende des Hebels gelegene Schraube *q* endet in eine verquickte Kupferspitze, die in ein cylindrisches Quecksilbergcfäss aus Eisen taucht, welches gleichfalls isolirt in dem Tisch befestigt, und mit der anderen Klemme *k* leitend verbunden ist. Die Quecksilberkuppe in dem Gefäss kann gehoben und gesenkt werden, indem eine eiserne Schraube *s*, welche fast die ganze Lichtung des Gefässes einnimmt, von unten hinein- und herausgeschraubt wird, wie dies Fig. 12a

<sup>1</sup> Die dem Beschauer nächste senkrechte Kante des Messingtischchens hat halbe natürliche Grösse.

Taf. III. zeigt, worin dieser Theil der Vorrichtung im senkrechten Durchschnitt und im  $\frac{2}{3}$ -Maassstabe besonders dargestellt ist.<sup>1</sup>

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. 208). 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 *hi* aus Schildpatt verknüpft.

[152] 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  $\sigma$  befestigt wird, so dass sich die Röhre mit der Zange in einem Stück hebt und senkt, mit anderen Worten, dass 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.

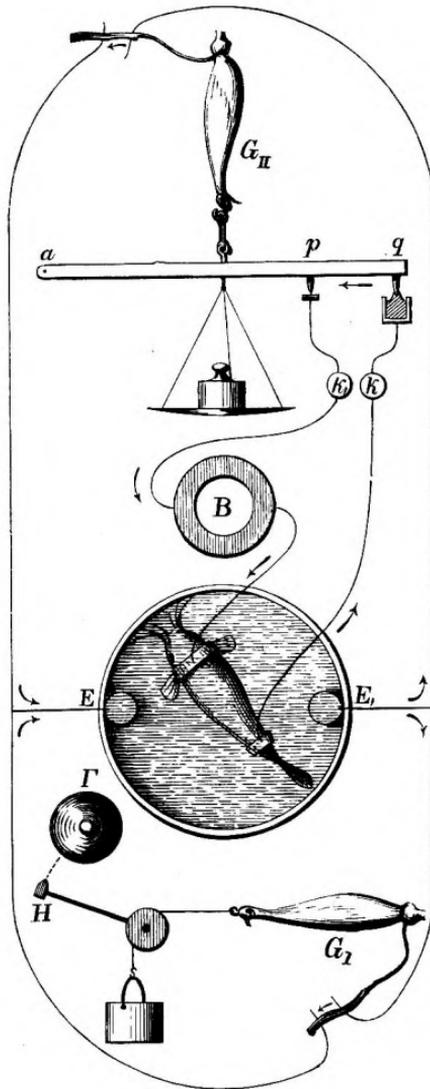
Für den Fall, dass man den Muskel unmittelbar zu erregen wünschte, würde die Klemme bei  $\sigma$  statt des Stieles der Reizungsröhre den einen Draht aufnehmen, der andere müsste dünner Multiplicatordraht (s. oben S. 174 Anm.) und am Fleischhaken befestigt sein.

Der Gebrauch der Vorrichtung im Allgemeinen wird durch Fig. 13 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*,<sub>2</sub> 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. Ausser dem Fisch mit seinen Sätteln sieht man in der Wanne die schon beim Froschwecker (s. oben S. 214) erwähnten Zinnelektroden *E*, *E*,<sub>2</sub>, 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*,<sub>1</sub>, *H* und *I* erkennt, der andere zu der des Unterbrechers. Schlägt der Fisch, wie er dies im Augenblick zu thun pflegt, wo [153] man ihm die Sättel aufsetzt, so

<sup>1</sup> Das Messing im Durchschnitt ist von rechts und oben nach links und unten, die Kammmasse ist umgekehrt und dichter schraffirt, das Eisen getüpfelt.

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

Fig. 13.



Zuckung nachlässt, 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, dass der durch

Capillaranziehung getragene Quecksilberfaden bei der geringsten Hebung der Spitze reißt (Fig. 12 *a*, 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 maass, sondern unsere Vorrichtung ist überhaupt nichts als eine bequemere und einfachere Gestalt der von ihm angewendeten.<sup>1</sup> 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 Einfluss. Selbst am Myographion, wo sie die Curven etwas entstellt, wird sie vernachlässigt. Dass 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 Zerreißung des Quecksilberfadens, anderentheils die Oeffnung 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, dass daraus keine namhafte Störung erwächst. Unsere [154] 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, dass 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, dass die damals von Hrn. HELMHOLTZ ermittelten Grundbestimmungen über die bei sich gleichbleibender Länge mit der Zeit wachsende Spannung des Muskels auf unsere gegenwärtigen Versuche Anwendung finden. Indem man den Muskel mittels der Mikrometerschraube senkt, erreicht man, dass der Hebel durch die Platte gerade in der Stellung unterstützt wird, in welcher der Muskel ihn

<sup>1</sup> Archiv für Anatomie u. s. w. 1850. S. 276. Taf. VIII.

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, dass bei schnellem Klopfen mit dem Finger auf die Stiftschraube, wie beim Percutiren zur ärztlichen Exploration, kein Klirren erfolgt.<sup>1</sup> 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 Einfluss 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.<sup>2</sup>

Der Zustand der Belastung bringt es bekanntlich mit sich, dass 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 Oeffnen 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 [155] 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 Oeffnungszuckung handelt, der katelektrotonisirten Nervenstrecke,<sup>3</sup> und mit sinkender Temperatur. Der obere Rand des unteren Platinringes der Reizungsröhre liegt etwa 27<sup>mm</sup> 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

<sup>1</sup> Vergl. HELMHOLTZ in POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1851. Bd. LXXXIII. S. 517.

<sup>2</sup> Vergl. HELMHOLTZ im Archiv für Anatomie u. s. w. a. a. O. S. 312.

<sup>3</sup> 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 electriche Erregung der Nerven und Muskeln. Leipzig 1861. S. 287. 303. 304.

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, dass wir, nachdem der Muskel in der angegebenen Weise belastet worden, auf die Wagschale Gewichte, als Ueberlastung in dem von Hrn. HELMHOLTZ gebrauchten Sinne, legen. Zu den beiden ersten Zeiträumen tritt dann ein dritter hinzu, der im Allgemeinen mit der Ueberlastung wächst, und sich mindestens bis auf das Dreifache der Summe jener ausdehnen kann, so dass die ganze Dauer des Vorganges vom Augenblick der Reizung an, bis die Spannung des Muskels der Summe der Belastung und Ueberlastung gleich geworden ist, etwa  $0''\cdot 04$  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 lässt, ist leicht zu prüfen, indem man wiederholt den Ausschlag beobachtet, den ein während jener Zeit kreisender beständiger Strom an der Busssole erzeugt. Wir könnten uns hier an Hrn. HELMHOLTZ' Versuche zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Reizung halten, in denen zwei solche Reihen, [156] die von verschiedenen Nervenstellen aus gewonnen sind, mit einander verglichen werden. Diese Reihen, die in seinen Tabellen je eine Vertical-Columnne einnehmen, lassen eine völlig ausreichende Beständigkeit der Wirkungen von jeder Nervenstelle aus erkennen. Wir dürfen uns aber nicht hierbei beruhigen, auch abgesehen davon, dass es rathsam erscheint, die neue Vorrichtung vor dem Gebrauch auf irgend eine solche Probe zu stellen: Hr. HELMHOLTZ liess, wie sein Zweck es mit sich brachte, seine Versuche einander unstreitig so schnell folgen, wie gewisse Umstände es erlaubten;<sup>1</sup> und er hatte keinen Anlass, sie länger fortzusetzen als nöthig, um daraus auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung zu schliessen. Soll dagegen der Froschunterbrecher den von uns verlangten Dienst leisten, so muss er mindestens anderthalb Stunden lang gleichmässig 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 folgendermaassen schritt. Ich brachte in einen Kreis 1. eine GROVE'sche Kette, um den zeitmessenden Strom zu liefern; 2. die Spiegelbusssole mit 53 Windungen in  $15^{\text{mm}}$  Abstand vom Spiegel; 3. den Froschunterbrecher; 4. den von Hrn. PFLÜGER in die Elektrophysiologie eingeführten Fall-

<sup>1</sup> Archiv für Anatomie u. s. w. A. a. O. S. 312. 313.

hammer mit elektromagnetischer Auslösung, um den Kreis durch Eintauchen einer Platinspitze in Quecksilber zu schliessen;<sup>1</sup> 5. einen so ansehnlichen Widerstand, dass die im Kreise befindlichen veränderlichen Widerstände, wie der zwischen Stift und Stützplatte, der der Quecksilbergefässe am Unterbrecher und Hammer, dagegen verschwanden (s. oben S. 172); 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 [157] 100<sup>mm</sup> Entfernung des Multiplicatorgewindes der Bussole vom Spiegel die Stärke des zeitmessenden Stromes ( $I$ ) war bestimmt worden, um sich am Schluss der Versuchsreihe seiner Beständigkeit versichern zu können, wurde alle zehn Minuten durch Umlegen der Wippe des Stromwenders der Hammer fallen gelassen und eine Schliessungszuckung ausgelöst, welche den Kreis, durch dessen Schliessung sie entstand, sogleich wieder öffnete. Das Multiplicatorgewinde war dabei dem Spiegel wieder so nahe gebracht, dass ein Ausschlag von angemessener Grösse erfolgte. Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse, die ich so an verschiedenen Präparaten bei verschiedenen Ueberlastungen erhielt. Eine Versuchsreihe ohne Ueberlastung fehlt, da ich, wie schon Hr. HELMHOLTZ,<sup>2</sup> fand, dass dabei auf keine Regelmässigkeit 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 regelmässig mit den Ueberlastungen wachsen.<sup>3</sup> [158]

<sup>1</sup> Das Spritzen des Quecksilbers, welches Hrn. PFLÜGER zwang, das Quecksilbergefäss 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 dass es nicht federt.

<sup>2</sup> Archiv für Anatomie u. s. w. A. a. O. S. 314.

<sup>3</sup> 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 Schliessen des Kreises mittels des Schlüssels erfolgt auch ohne Ueberlastung ein kleiner Ausschlag, der von dem Stadium der latenten Reizung herrührt; beim Auflegen wachsender Ueberlastungen erhält man immer grössere Ausschläge. Es ist kein Grund da, weshalb man nicht mit Hilfe der Spiegelbussole, bei Anwendung des von mir beschriebenen Verfahrens, um deren Ab-

Minuten.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	I		
														vorher	nachher	
Ueberlastungen 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

Ueber zwei Stunden hinaus wuchsen die Ausschläge rasch, und bei den höheren Ueberlastungen wurde bald der Hebel nicht mehr hoch genug gehoben, um den Quecksilberfaden zu zerreißen.<sup>1</sup>

Bei der Betrachtung der obigen Zahlenreihen springt zunächst das

lenkungen Mehreren zugleich sichtbar zu machen (s. oben S. 152), 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 Natur 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, dass seine Wirkungsweise schwerer zu erklären ist, als was es erläutern soll. Bedenklich ist auch, dass, während Hr. HELMHOLTZ, worin ich ihm beistimme (s. oben), es unmöglich fand, ohne Ueberlastung regelmässige Ausschläge von der nämlichen Nervenstelle aus zu erhalten, und deshalb nie einen Zeitmessungsversuch ohne Ueberlastung anstellte, am Myochronoskop nicht nur keine Einrichtung zum Ueberlasten vorhanden ist, sondern auch in der Beschreibung der damit angestellten Versuche der Hinweis auf die ungemaine Sorgfalt fehlt, womit das Einstellen auf Belastung alsdann geschehen musste, sollte es nicht völlig dem Zufall überlassen bleiben, welcher der beiden Muskeln zuerst den Kreis öffnete. (Nachträgliche Anmerkung [1862].)

<sup>1</sup> 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 zulässt. Am frischen Präparat und bei kleiner Ueberlastung kann man dasselbe bewirken, indem man die Quecksilberkuppe so hoch schraubt, dass 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<sup>o</sup>. p. 19; — Uebersetzt von JOH. MAYER u. s. w. Prag 1793. S. 39; — Opere edite ed inedite ec. Bologna 1841. 4<sup>o</sup>. 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 [1862].)

Gesetz in die Augen, dass die Ausschläge, oder die ihnen proportionalen Schliessungszeiten, zuerst ab- und dann wieder zunehmen. Die Erörterung dieses Umstandes wird besser in eine Anmerkung verwiesen,<sup>1</sup> da [159]

<sup>1</sup> Eine Spur desselben Verhaltens lässt 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 Ueberlastungen gewechselt, dieselbe Ueberlastung 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 Ueberlastung 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. Demgemäss 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.

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 Einfluss später durch die Abnahme der Leistungsfähigkeit überwogen würde. Die Tabelle lehrt jedoch, dass die Abnahme der Stromstärke selbst nach zwei Stunden nicht ausreicht, die Abnahme des Ausschlages nach einer Stunde zu erklären. In einem Falle (dem mit 100 gr Ueberlastung) war sogar die Stärke des zeitmessenden Stromes nach zwei Stunden etwas grösser als anfangs, während die Ausschläge das nämliche Gesetz zeigten.

Etwa während der ersten Hälfte jeder Versuchsreihe muss 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 muss man, um dasselbe zu erreichen, den Muskel etwas senken. Das Erste rührt daher, dass der Muskel durch die dauernde Belastung gedehnt wird und an Spannung verliert, das Zweite vom Austrocknen der Sehne (s. oben S. 213). 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 verfliesst, und wie klein sie auch während dieses Zeitraumes ausfallen mögen, so müssen sie doch dahin wirken, die Dehnung, einen Theil der Belastung in Ueberlastung zu verwandeln, und so die Schliessungszeit zu vergrössern (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 Schliessungszeiten 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 erhalte. In Hrn. HELM-

sie uns hier zu weit führen würde. Sieht man ab von einigen aus der Ordnung fallenden Zahlen, welche wohl nur Einstellungsfehlern zuzuschreiben [160] sind, so ergibt sich, dass der Froschunterbrecher volle zwei Stunden lang mit einer für unsere Zwecke genügenden Pünktlichkeit die Aufgabe erfüllt, einen Kreis nach einer durch die Ueberlastung bemessenen Frist zu öffnen.

Demnächst wäre zu zeigen, welchen Einfluss das Einschalten des Froschunterbrechers in den Versuchskreis des Zitterwelses übt. Es ist indess meine Absicht nicht, hier ausführlich darauf einzugehen. Das allgemeine Ergebniss dieser Versuche habe ich schon anderswo mitgetheilt.<sup>1</sup> Gemäss dem oben S. 214 Gesagten, besteht es darin, dass keineswegs der Zitterwelseschlag zu flüchtig ist, um mittels der Zuckung seinen Eintritt in eine stromprüfende Vorrichtung zu regeln; dass vielmehr die Dauer des Schlages mit der der Zusammenziehung von einerlei Ordnung ist; und dass 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 Ueberlastung wachsenden Bruchtheil durchzulassen. Man kann auch umgekehrt so verfahren, dass man das Stück *pq* des Hebels zu einer Nebenleitung zum Versuchskreise macht, welche durch die Zuckung geöffnet wird. Alsdann werden die Aus-

---

HOLTZ' Versuchen war indess der Muskel, wenn auch nicht so vollkommen wie der Nerv, vor der Trockniss geschützt, und in einem von mir angestellten Controlversuch, wo er ganz ebenso geschützt war, erfolgte die Abnahme der Ausschläge wie sonst. Von der Trockniss also, als Ursache dieser Abnahme, ist jedenfalls abzusehen. Was die Dehnung betrifft, so ist nicht wohl denkbar, dass ihr Einfluss gross genug ausfalle, in Erwägung, dass es sich dabei nur um Unterschiede einer sehr kleinen und langsamen abnehmenden Grösse handeln würde.

Mit Erklärungsgründen dieser Art dürfte hier nichts auszurichten sein. Dagegen möchte Folgendes in Betracht kommen. Hr. HERMANN MUNK hat kürzlich gezeigt, dass das Erregungsmaximum des Nerven, gemessen durch die grösste, 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 u. s. w. 1860. S. 810. 814. 815). Einem ähnlichen Gesetze folgen gleichzeitig sämmtliche Ordinaten der Curve der Erhebungshöhen, also auch die der Curve der Spannungen bei gleicher Länge. Dann ist klar, dass eine gewisse Zeit nach der Zurichtung die gleiche Spannung schneller nach der Reizung eintreten werde, als früher und als später, mit anderen Worten, dass, wie wir es fanden, die Schliessungszeiten ein Minimum haben müssen. (Hr. MUNK ist seitdem zu der Ueberzeugung gelangt, dass das Ansteigen des Erregungsmaximums von einer Temperaturerhöhung des Präparates abhängt. A. a. O. 1861. S. 425 ff.; — 1862. S. 1 ff. (Nachträglicher Zusatz [1862].)

<sup>1</sup> Monatsberichte u. s. w. 1858. S. 96. 102. — Vergl. die Abhandlung über die Zitterweise im zweiten Bande dieser Sammlung.

schläge um so kleiner, je höher die Ueberlastungen. 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 zu erlangen, ist gleichsam eine Constante der Natur. Warum sollte man nicht, wenn einmal die zum Erlangen einer bestimmten Spannung nöthige Zeit bekannt ist, daraus, dass der Muskel diese Spannung erlangt hat, umgekehrt schliessen, dass jene Zeit verflossen sei? [161] Es scheint, als böte sich so in passend geleiteten Versuchsreihen am Froschunterbrecher ein Mittel dar, mit Hilfe der HELMHOLTZ'schen Curve der Spannungen bei gleicher Länge,<sup>1</sup> die Dauer des Zitterwellschlages 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 Einfluss der Grösse des Muskels auf die Curve der Spannungen. Die folgende Tabelle giebt einen Begriff von diesem Einfluss, den Hr. HELMHOLTZ zu berücksichtigen keinen Grund hatte. Sie zeigt das Ergebniss von Versuchen, welche ganz wie die oben S. 222 beschriebenen mit Gastroknemien von verschiedener Länge angestellt wurden. Die Zahlen sind das abgerundete Mittel dreier Versuche, zwischen denen drei Minuten verflossen.

Ueberlastung 100<sup>gr</sup>.

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

Wie zu erwarten war, fällt die Schliessungszeit bei gleicher Ueberlastung im Allgemeinen um so kleiner aus, je grösser der Muskel; doch nimmt sie langsamer ab, als im umgekehrten Verhältniss der Grösse.

Man sieht zweitens, an dem Beispiel des 22<sup>mm</sup> langen Muskels, dass ausser der Grösse des Muskels auch noch dessen Leistungsfähigkeit in's Spiel kommt, und gelegentlich den Einfluss der Grösse überwiegt.

Drittens aber, und hauptsächlich, setzt der Gebrauch der Zuckung zu Zeitmessungen in der angedeuteten Art eine gleichmässige Reizung des Nerven voraus. In Hrn. HELMHOLTZ' Versuchen geschah diese stets mittels eines Oeffnungsinductionsschlages von verschwindender Dauer

<sup>1</sup> A. a. O. Taf. VIII. Fig. 4. — Vergl. dazu S. 306—309.

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, [162] dass er oberhalb des Maximums bald grösser, bald kleiner ausfällt. Was dagegen sehr in Betracht kommt, ist, dass der Reiz in unserem Falle keine zu vernachlässigende, ja nicht einmal eine beständige Dauer hat. Man kann ihn nämlich offenbar als einen an Dauer die Schliessungszeit übertreffenden Maximalreiz auffassen; da die späteren Stadien des Vorganges ohne Bedeutung für die Schliessungszeit sind, also gleichsam als würde der Nerv während der ganzen Schliessungszeit, sie sei kurz oder lang, mittels einer stetigen, sehr ausgiebigen Stromschwankung bis zum Maximum tetanisirt. Die Schliessungszeit für eine bestimmte Ueberlastung wird, alles Uebrig gleich gesetzt, in den Fischversuchen also kleiner sein, als in den HELMHOLTZ'schen oder in den oben S. 222 von uns angestellten Versuchen, und die Schliessungszeiten und Ueberlastungen werden dort durch eine andere und mehr verwickelte Beziehung verknüpft sein, als hier. Unter diesen Umständen ist es klar, dass, um aus den Versuchen am Froschunterbrecher auf Verlauf und Dauer des Zitterwelschlages weitere Schlüsse zu ziehen, zuerst noch Messungen der Zeit anzustellen wären, die beim Tetanisiren in obiger Art zwischen Beginn der Reizung und Heben der Ueberlastung verfliesst.

Bei alledem bleibt noch die Möglichkeit zu erwägen, wodurch auch diese Auskunft entwerthet würde, dass es sich am Zitterwels nicht immer um einen Maximalreiz handele, und dass auch noch so der wechselnde Verlauf des Schlages von Einfluss auf die Schliessungszeit werde.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> [Der Froschunterbrecher hat sich noch in anderen Versuchen, als solcher an Zitterfischen, nützlich gezeigt. Indem Hr. ROSENTHAL zwischen  $k$  und  $k$ , ein elektromagnetisches Lätewerk einschaltete, welches jede Oeffnung des Kreises mit einem Glockenschlage beantwortet, befähigte er den Unterbrecher, so kleine Verkürzungen von Muskeln anzugeben, dass sie anders nicht wohl zu bemerken wären. In dieser Form diente ihm der Unterbrecher zur Bestimmung der Kraft von Froschmuskeln (Comptes rendus etc. 1867. t. LXIV. p. 1143); auch erlaubt er bequem den HERMANN'schen Versuch zu wiederholen, in welchem trotz wachsender Belastung (im HELMHOLTZ'schen Sinne) stets fast dieselbe Stromstärke minimale Zuckung auslöst (Archiv für Anatomie u. s. w. 1861. S. 369).]

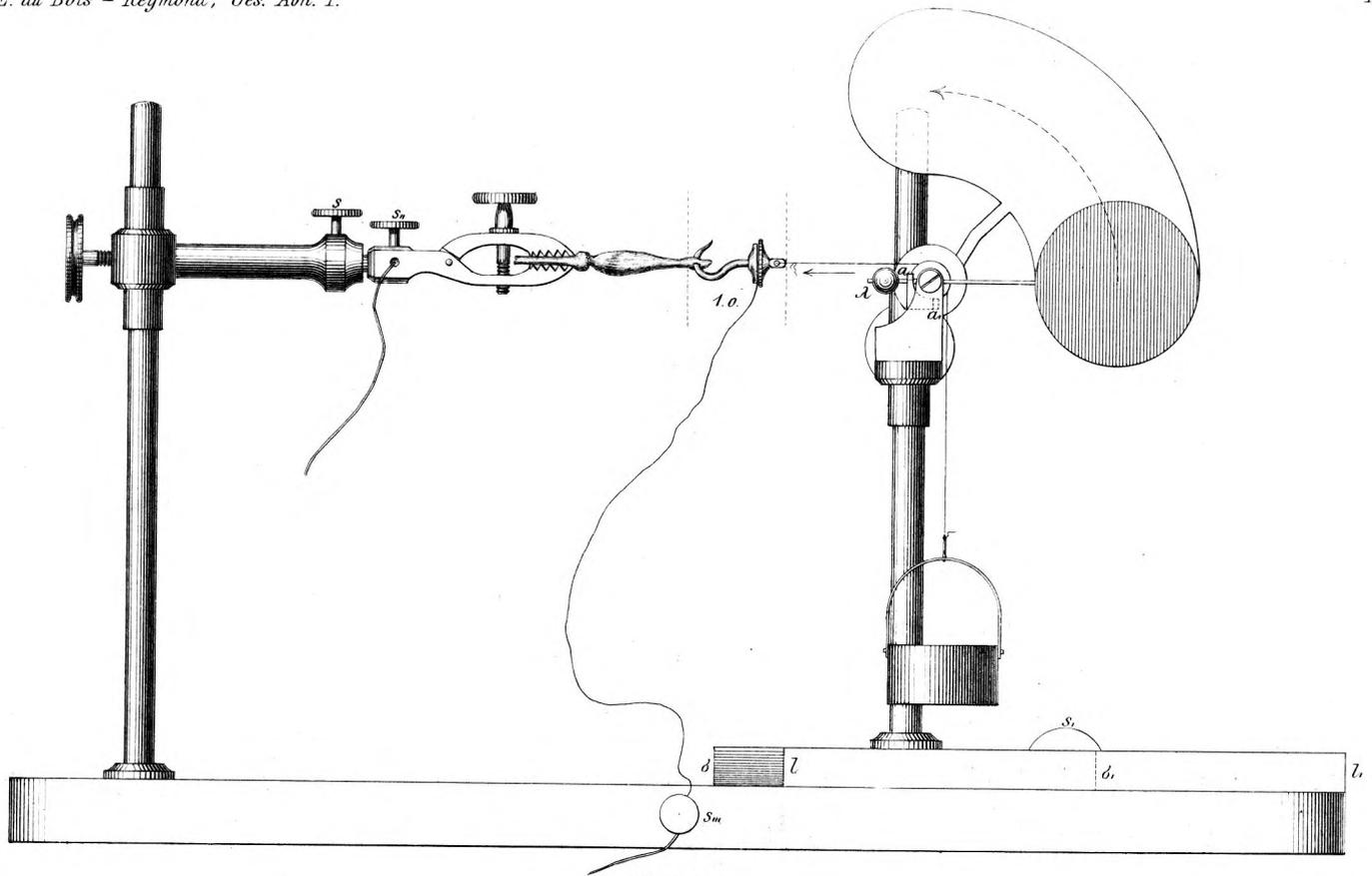


Fig. 9-0.5.

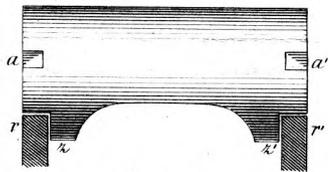


Fig. 1a-0.66.

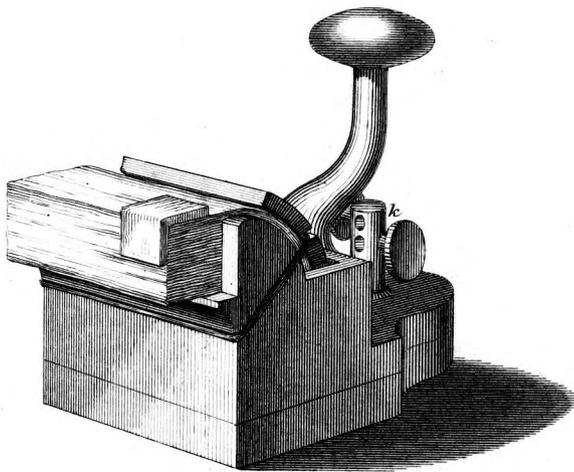


Fig. 1-0.66.

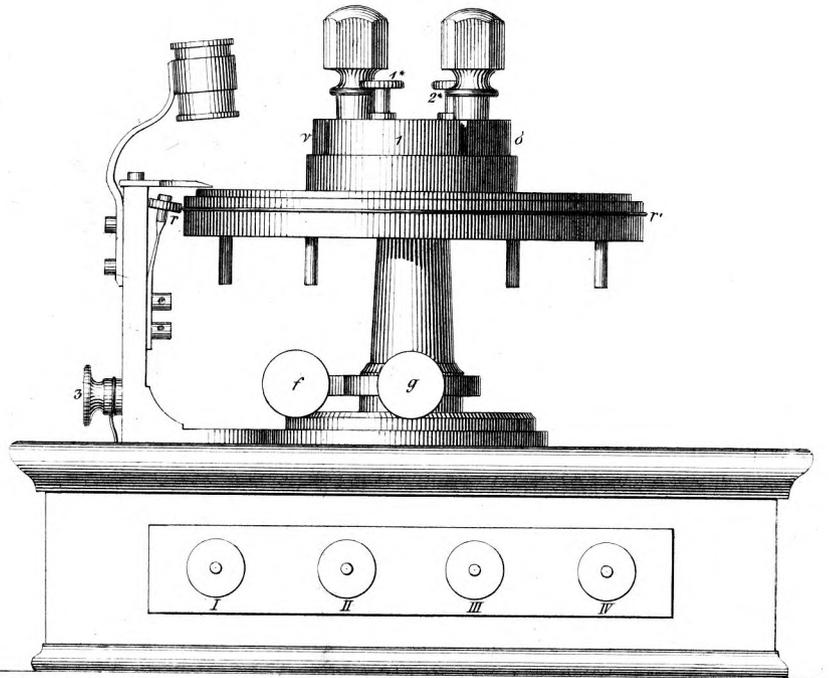


Fig. 6-0.5.

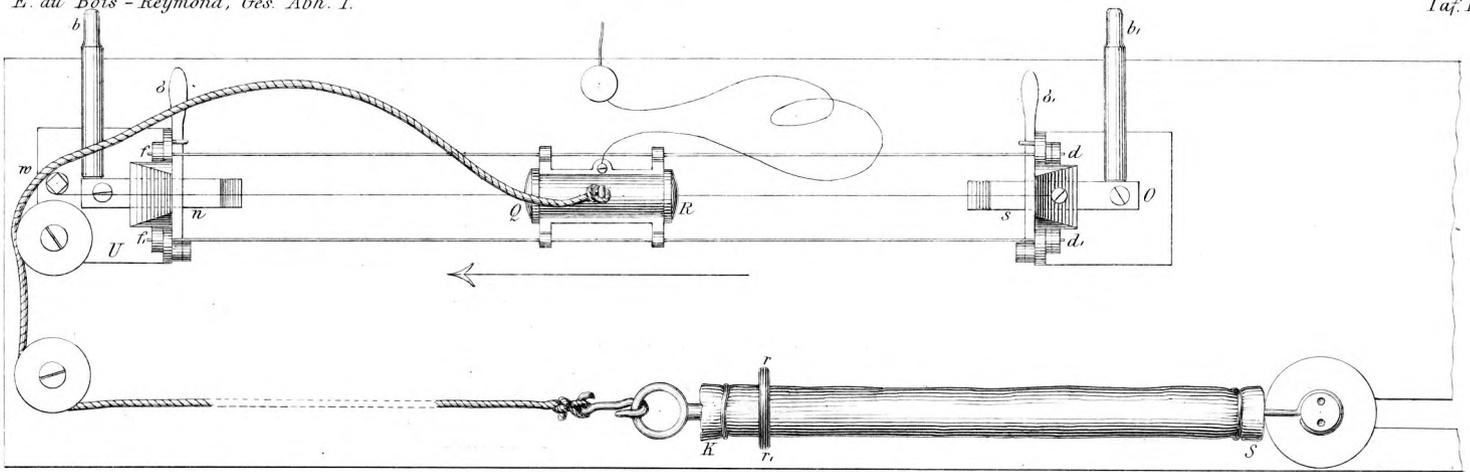


Fig. 8. - 0.5.

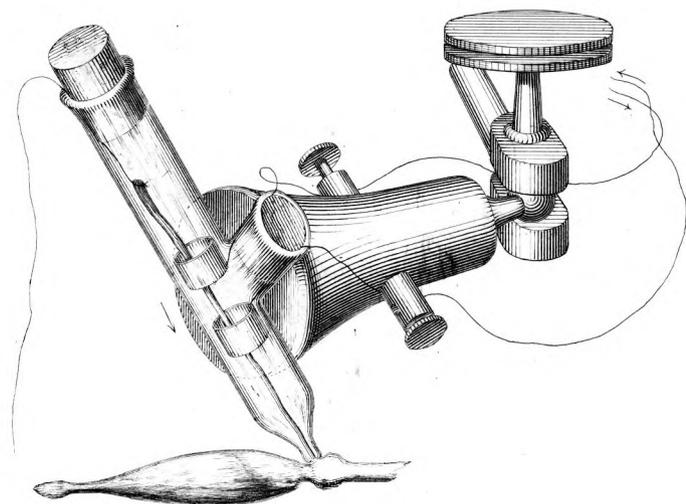


Fig. 11. - 1.0.

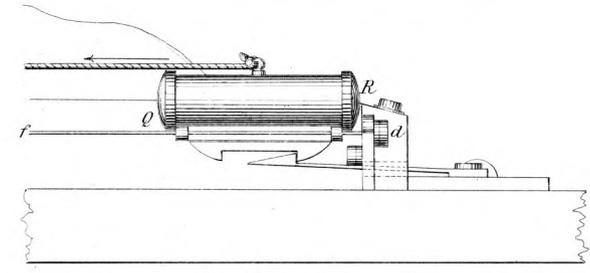


Fig. 8 a. - 0.66.

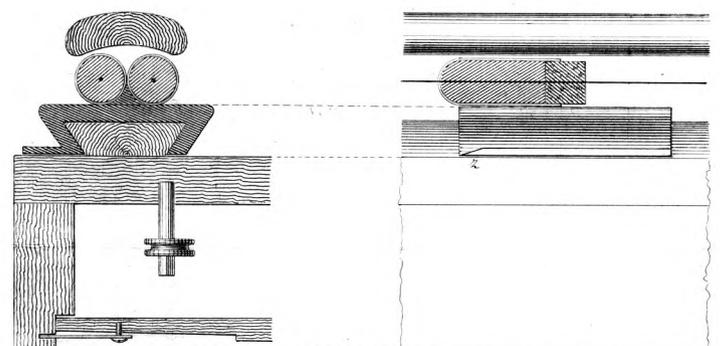


Fig. 7a.

0.5.

Fig. 7b.

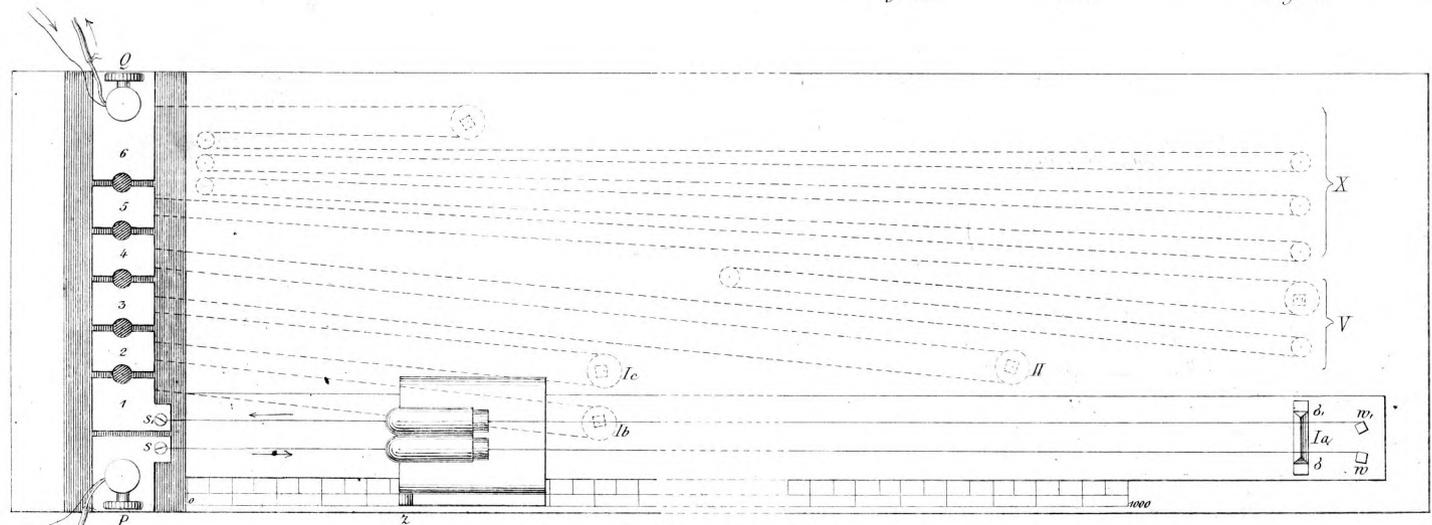


Fig. 7. - 0.33.

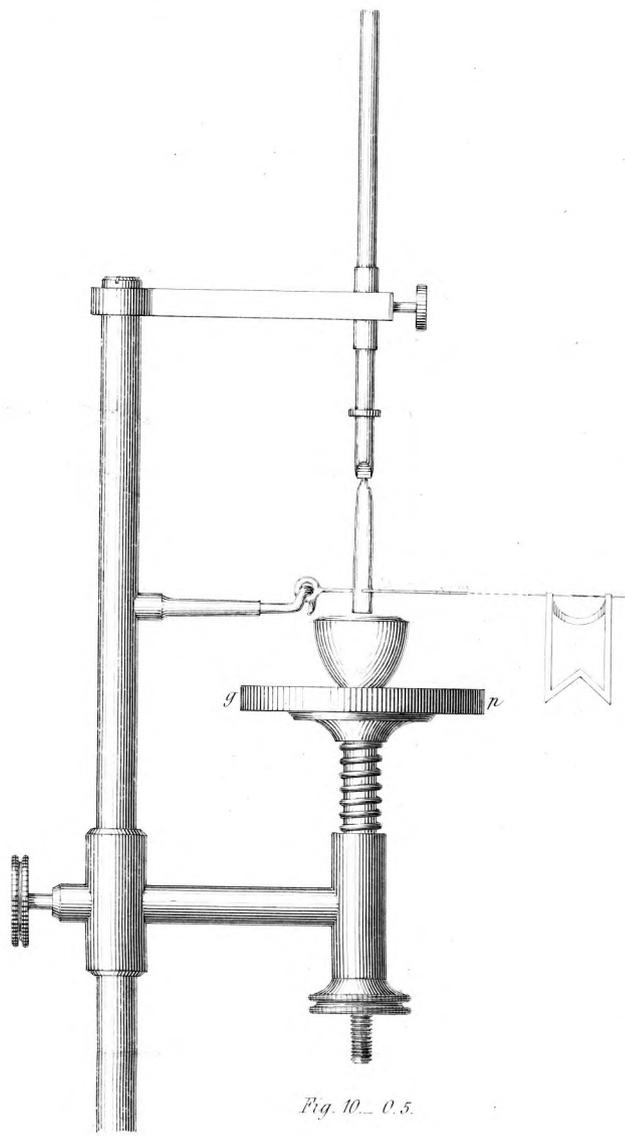


Fig. 10. 0.5.

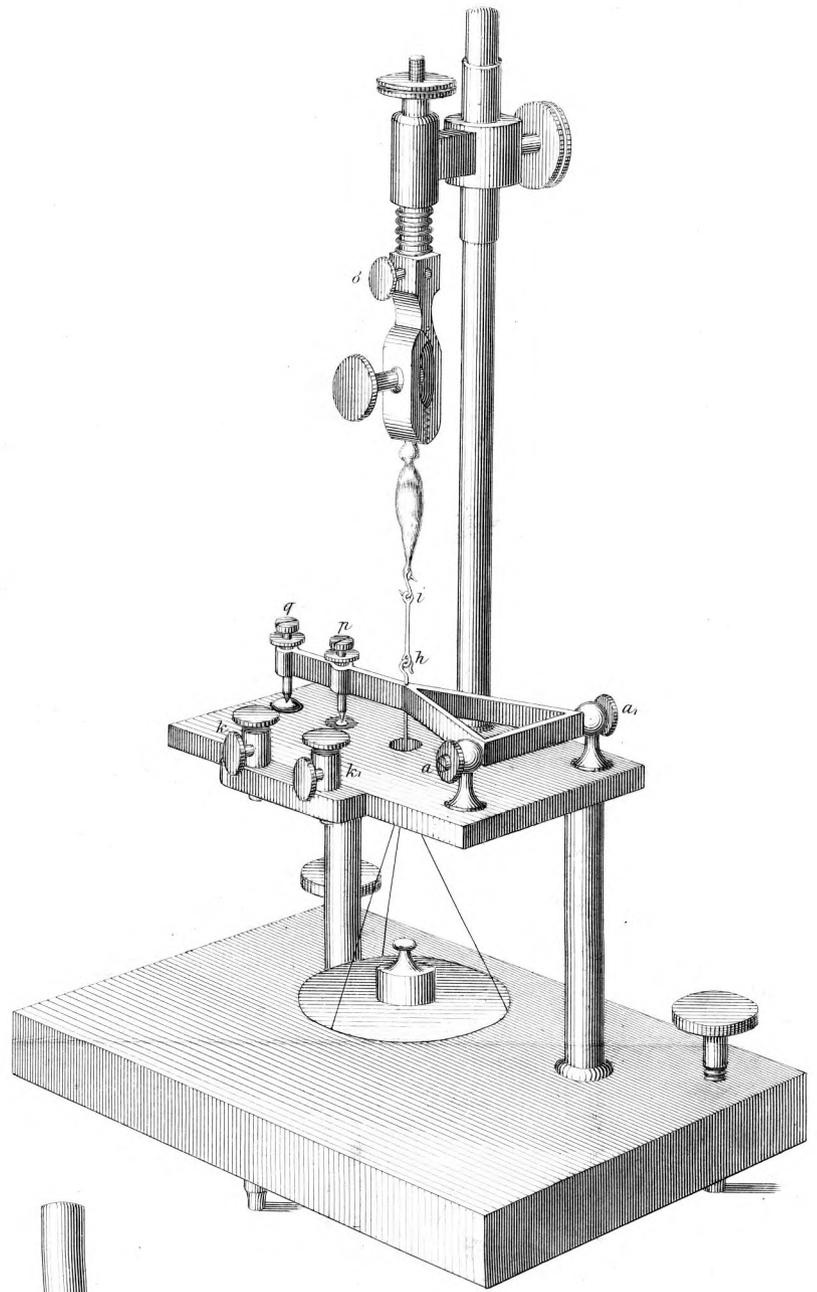


Fig. 12. 0.5.

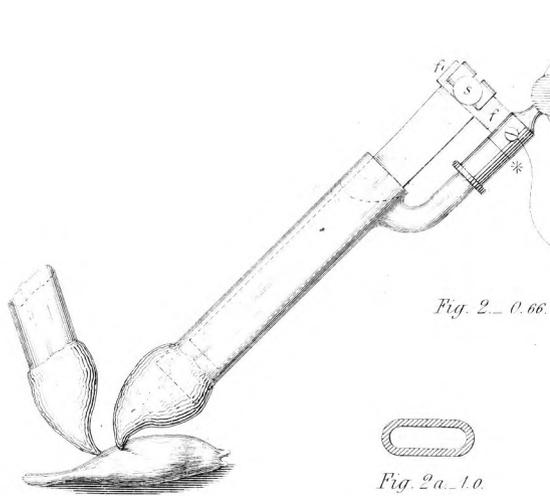
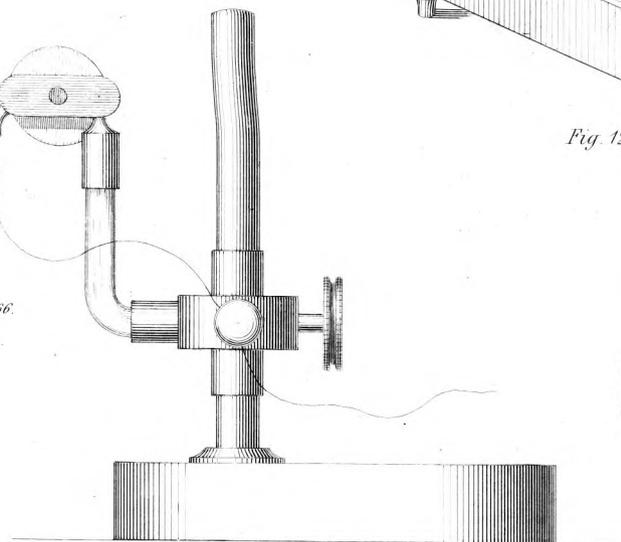


Fig. 2. 0.66.

Fig. 2a. 1.0.



Leipzig, Verlag von Veit u. Comp.

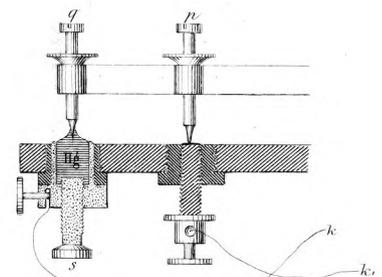


Fig. 12 a. 0.66.

E. d. B. R. gez.

P. Haderer gest.