universität innsbruck
Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Allgemeine Physiologie der Muskeln und Nerven

Rosenthal, Isidor

Leipzig, 1899

Neuntes Kapitel

urn:nbn:at:at-ubi:2-6463

NEUNTES KAPITEL.

1. Elektrische Erscheinungen; 2. Elektrische Fische; 3. Elektrische Organe; 4. Multiplicator und Tangentenbussole; 5. Stromprüfender Schenkel; 6. Elektrometer; 7. Schwierigkeit der Untersuchung; 8. Gleichartige Ableitungsgefässe; 9. Ableitungsröhren.

1. Wir haben im Vorhergehenden die wesentlichen Eigenschaften der Muskeln und Nerven betrachtet, dabei aber eine Reihe wichtiger Erscheinungen, welche beiden gemeinsam sind, übergangen, um sie jetzt im Zusammenhange darzustellen. Es sind die elektrischen Wirkungen, welche von diesen Geweben ausgehen. Unter allen Geweben des thierischen Organismus zeichnen sich gerade die Muskeln und Nerven durch verhältnissmässig starke elektrische Wirksamkeit aus, und bei den Beziehungen zwischen elektrischen Strömen und der Reizbarkeit der Muskeln und Nerven dürfen wir hoffen, dass diese selbständigen elektrischen Wirkungen vielleicht etwas zum Verständniss der wesentlichen Eigenschaften jener Gewebe beitragen können.

Schwache elektrische Strömungen entstehen unter allen möglichen Umständen sehr leicht. Es kommt daher bei der Untersuchung der elektrischen Wirkungen thierischer oder pflanzlicher Gewebe darauf an, mit der grössten Sorgfalt darauf zu achten, ob die Wirkungen auch wirklich von jenen Geweben ausgehen und nicht etwa durch zufällige äussere Ursachen, insbesondere durch die Versuchsanordnung selbst veranlasst sind. Achtet man hierauf, so zeigt sich, dass ausser den Muskeln und Nerven besonders auch die Drüsen in regelmässiger Weise elektrisch wirksam sind. Es ist dies von Interesse, da die Drüsen in physiologischer Hinsicht den Muskeln und Nerven sehr nahe stehen. Dass auch an anderen Geweben von Thieren und Pflanzen elektrische Erscheinungen nicht gänzlich fehlen, werden wir am Schlusse dieses

Abschnitts sehen und werden dann versuchen festzustellen, wieviel dies für das Verständniss der Erscheinungen an Muskeln und Nerven beizutragen im Stande ist.

2. Es gibt ausser den drei genannten noch ein Gewebe, bei welchem die elektrischen Wirkungen in viel grösserer Stärke auftreten, sodass sie schon seit längerer Zeit als solche erkannt wurden, ehe man noch entdeckt hatte, dass auch Muskeln und Nerven die gleiche Fähigkeit besitzen. Freilich kommt dies Gewebe nicht bei allen Thieren vor, sondern nur bei einigen Fischen, welche deshalb auch als elektrische Fische bezeichnet werden. Bei diesen Thieren finden wir besondere Organe von eigenthümlichem Bau, in denen wie in einer elektrischen Batterie Ströme von bedeutender Stärke entstehen können. Die Entladung dieser Batterien geht unter dem Einfluss des Willens vor sich. Sie dient den Thieren als Waffe, mit der sie ihre Feinde zu schrecken oder ihre Beute zu betäuben und zu tödten im Stande sind. Lange, ehe die Welt etwas Genaueres über die physikalische Natur der elektrischen Erscheinungen wusste, mussten sich so mächtige Wirkungen der gelegentlichen Beobachtung aufdrängen. So finden wir schon bei den Alten Berichte über diese merkwürdige Erscheinung, und der römische Dichter Claudius Claudianus* gibt uns eine recht anschauliche Schilderung ihrer Wirkungen in den folgenden Versen:

Wer hat nicht schon gehört von der Kraft des schrecklichen Rochen,
Seiner erstarrenden Kraft, die ihm den Namen gegeben!**
Nur aus Knorpel gebaut, so schwimmt er gegen die Wogen
Langsam, und kriechet träg auf abgespületem Sande.

---

* Aus Alexandria, lebte zu Ende des 4. Jahrhunderts n. Chr. Aeltere Nachrichten über den Zitterrochen finden sich bei Plinius, Aelian und Oppian, dessen Gedicht über den Fischfang dem Claudian vorgelegen zu haben scheint, sowie bei Aristoteles.

** Torpedo, abgeleitet von *torpor*, Starre.

Doch die Natur hat ihn mit eisigem Gifte gewaffnet,
Kälte ins Mark gegossen, die alles Belebte erstarren
Macht, und ewigen Winter den Eingeweiden verliehen.
Was die Natur ihm verliehn, dem kommt er mit List noch zu Hülfe,
Und der Kraft sich bewusst, lang hingestrecket im Seegras
Hält er sich stille; doch naht sich ein Thier, zum Spiegel sich hebend
Weidet er straflos frech sich an den lebenden Gliedern.
Wenn aus Versehen jedoch er in den Köder gebissen,
Und den Zügel gefühlt, die krumme Angel im Munde,
Trachtet er weder zu fliehn, noch beissend sich zu befreien.
Sondern er schmieget sich klug nur näher dem dunkelen Rosshaar,
Seiner Kraft sich bewusst, lässt weithin über die Wasser
Er den elektrischen Hauch aus giftigen Venen entströmen.
Schnur und Angel durchzucket der Blitz, und über den Wogen
Lähmt er den Menschen sogar; aus innerster Tiefe des Meeres
Zucket der schaurige Blitz, und den hängenden Faden verfolgend
Dringt er mit magischer Kraft eiskalt in die Knoten des Schilfrohrs,
Lähmet den siegreichen Arm, und bringet den Blutlauf ins Stocken.
Aber der Fischer, entsetzt, wirft weg die verderbliche Beute,
Lässt die Angel in Stich und eilet bestürzt zu den Seinen.

Nachdem durch die Entdeckungen von Galvani und Volta die Lehre von der Elektricität in eine neue Entwickelung getreten war, wurden diese Fische mehrfach von verschiedenen Forschern untersucht, und die elektrische Natur der ihnen innewohnenden Kraft aufs unzweideutigste bewiesen. Besonders werthvoll sind die Untersuchungen von Faraday am Zitteraal und von Du Bois-Reymond am Zitterwels und Zitterrochen.

3. Es sind besonders die folgenden Fische, deren Fähigkeit, elektrische Schläge zu geben, sicher nachgewiesen ist. Der elektrische Roche oder Zitterroche des Adriatischen und Mittelländischen Meeres, *Torpedo electrica* und *Torpedo marmorata;* der Zitteraal, *Gymnotus*

electricus, ein Süsswasserfisch, der in den Gewässern des südlichen Amerika vorkommt; der erst in neuerer Zeit genauer untersuchte Zitterwels, *Malopterurus electricus*, oder *Malopterurus beninensis* aus den Flüssen der Bai von Benin an der Ostküste Afrikas. Schwächer wirksam sind die den Torpedineen nahe verwandten Mormyrusarten, *Mormyrus oxyrhinchus* u. a.

Sämmtliche elektrische Fische zeichnen sich durch den Besitz eigenthümlicher Organe aus, in welchen die elektrische Entladung entsteht. Sie stellen gleichsam starke Batterien vor, welche durch den Willen des Thieres in Thätigkeit versetzt werden. Sie entwickeln dann Ströme, die durch das Wasser gehen und andere in der Nähe befindliche Thiere treffen und erregen, ja sogar zu tödten im Stande sind. Diese elektrischen Organe, wie sie genannt werden, sind bei allen oben genannten Fischgattungen nach demselben Plane gebaut. Sie bestehen aus einer grossen Anzahl feiner Plättchen, die schichtweise neben- und übereinander geordnet, in bindegewebigen Kästchen eingeschlossen, das ganze Organ bilden. Bei dem Zitterrochen liegen diese Organe platt zu beiden Seiten neben der Wirbelsäule. Bei dem Zitteraal und Zitterwels sind sie der Länge nach angeordnet; bei dem letztern bilden sie eine geschlossene Röhre, in welcher das Thier steckt und gleichsam nur mit Kopf und Schwanz hervorsieht. Die einzelnen Plättchen, aus denen die Organe bestehen, sind daher bei dem Zitterrochen horizontal angeordnet, während sie beim Zitteraal und Zitterwels vertical stehen. Jedes dieser Plättchen stellt eine zarte Haut dar, welche bei der Thätigkeit des Organs auf der einen Seite positiv, auf der andern negativ elektrisch wird. Die Ströme dieser vielen Plättchen summiren sich ähnlich wie bei einer Batterie und geben deshalb zusammen einen äusserst kräftigen Strom. Zu jedem Plättchen tritt eine Nervenfaser, vermöge deren das Thier im Stande ist, willkürlich die elektrische Entladung zu bewirken, gerade wie mittels des Nerven willkürlich Muskel-

contraction bewirkt werden kann. Wenn man diese elektrischen Nerven künstlich reizt, so erhält man einen oder viele elektrische Schläge, wie man durch Reizung der Bewegungsnerven eine oder viele Zuckungen der Muskeln erhält. Die Aehnlichkeit der elektrischen Organe mit den Muskeln und Drüsen ist in physiologischer Beziehung in der That eine vollkommene. Es mag daher hier gleich hervorgehoben werden, dass diese Organe sich stets an solchen Körperstellen finden, an denen bei den nächstverwandten Arten sich Muskeln oder Drüsen befinden. Untersucht man die Entwickelung jugendlicher elektrischer Fische, so findet man an jenen Stellen die Anlagen von Muskeln oder Drüsen. Während aber bei den verwandten Arten die Entwickelung zu Muskeln oder Drüsen fortschreitet, schlägt sie bei den elektrischen Fischen einen andern Gang ein und es entstehen die elektrischen Organe. Wir dürfen deshalb die letzteren als modifizirte Muskeln oder Drüsen ansehen, bei denen die Eigenschaft der Contractilität oder der secretorischen Thätigkeit nicht zur Entwickelung gekommen ist, statt dessen aber die Fähigkeit zur Erzeugung elektrischer Wirkungen einen besonders hohen Grad erreicht hat. Aehnliche elektrische Organe besitzen auch die schwach elektrischen Fische der Gattung Mormyrus, sie sind jedoch kleiner und weniger ausgebildet.

4. Ehe wir auf die Darlegung der elektrischen Erscheinungen an thierischen Gebilden weiter eingehen, wird es nothwendig sein, Einiges über die elektrischen Erscheinungen im Allgemeinen und über die Mittel, sie nachzuweisen, vorauszuschicken.

Bekanntlich erhält man einen sogenannten elektrischen Strom, wenn zwei verschiedenartige Metalle miteinander und mit einer Flüssigkeit in Berührung sind. Die Elektricität tritt in diesem Falle in dem Zustande der Bewegung oder Strömung auf, während wir in andern Fällen sie im Zustande der Ruhe beobachten. Tauchen wir, wie Fig. 40 zeigt, ein Stück Kupfer und ein Stück

Zink in verdünnte Schwefelsäure und verbinden dieselben ausserhalb der Flüssigkeit durch einen Draht, so strömt die positive Elektricität durch den Draht vom Kupfer zum Zink und in der Flüssigkeit vom Zink zum Kupfer.* Um einen solchen Strom nachzuweisen, bedient man sich der Magnetnadel. Ein elektrischer Strom, welcher an einer Magnetnadel parallel vorbeigeführt wird, lenkt dieselbe aus ihrer normalen Lage ab und sucht sie senkrecht auf seine eigene Richtung zu stellen. Je nach der Richtung, in welcher die positive Elektricität strömt, und je nach der Lage des Leitungsdrahtes zur Magnetnadel wird der Nordpol der Nadel entweder nach Osten oder nach Westen abgelenkt. Man kann also mit Hülfe der Magnetnadel nicht nur die Anwesenheit eines elektrischen Stromes überhaupt erkennen, sondern auch seine Richtung im Draht bestimmen. Dieses einfache Hülfsmittel führt aber nur zum Ziel, wenn der Strom verhältnissmässig stark ist; denn die Magnetnadel wird in ihrer Lage durch die magnetische Richtkraft der Erde festgehalten, und der elektrische Strom muss diese überwinden, wenn er die Nadel ablenken soll. Um auch schwächere Ströme zu erkennen, windet man den Draht, durch welchen der elektrische Strom fliesst, in mehrfachen Windungen um die Nadel herum. Indem so jede Windung ablenkend auf die Nadel wirkt, wird die ablenkende Kraft vermehrt, weshalb man ein solches Instrument einen elektrischen Multiplicator nennt.** Um die Empfindlichkeit eines solchen noch zu erhöhen, sucht man ferner die Richt-

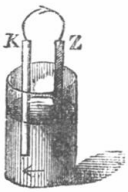

Fig. 40. Elektrisches Element.

---

* Schwächere Wirkungen kann man auch ohne Metalle durch blosse Berührung von Flüssigkeiten verschiedener chemischer Zusammensetzung erhalten. Von diesen sogenannten Flüssigkeitsketten wird später noch die Rede sein.

** Unter Berücksichtigung gewisser, hier nicht weiter zu erörternder Umstände kann das Instrument auch zur Messung

kraft der Erde bis auf einen geringen Betrag aufzuheben, sodass selbst schwache Ströme schon eine Ablenkung

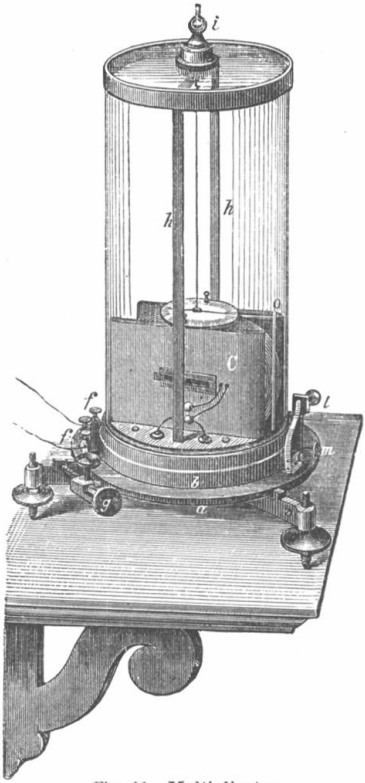

Fig. 41. **Multiplicator.**

hervorzubringen im Stande sind. Man erreicht dies z. B. indem man neben, über oder unter der Magnetnadel einen festen Magneten so aufstellt, dass er auf die Magnet-

der Stromstärke dienen. Es führt deshalb auch den Namen Galvanometer.

nadel entgegengesetzt wirkt wie der Erdmagnetismus, und ihn vorsichtig so weit nähert, bis die Wirkung des Erdmagnetismus beinahe ganz aufgehoben ist. Oder man verbindet zwei möglichst gleiche Magnetnadeln durch ein festes Zwischenstück derart, dass die gleichnamigen Pole nach entgegengesetzten Richtungen gekehrt sind. Da jetzt der Erdmagnetismus die beiden Nadeln nach entgegengesetzten Richtungen zu drehen strebt, heben sich die von ihm herstammenden Richtkräfte ganz oder doch fast ganz auf; deshalb können selbst sehr schwache elektrische Ströme, in geeigneter Weise um die Nadeln geführt, die Nadeln schon merklich ablenken.

Einen sehr empfindlichen Multiplicator zu physiologischen Untersuchungen stellt Fig. 41 (S. 151) dar. Die beiden, miteinander verbundenen Nadeln sind mittels eines Seidencoconfadens an dem Bügel *hh* aufgehängt; die Schraube *i* dient dazu, die Nadeln in der richtigen Höhe einzustellen, sodass eine der Nadeln innerhalb der Drahtwindungen frei schwebt, die andere oberhalb derselben über einer Kreistheilung; letztere gestattet zugleich die durch die Ströme bewirkte Ablenkung zu messen. Der sehr dünne Draht ist mit Seide besponnen und auf dem Rahmen *C* aufgewickelt; die Klemmschrauben *ff* dienen zur Zuleitung der Ströme.

Der Gebrauch des Multiplicators für physiologische Zwecke hat in neuerer Zeit bedeutend abgenommen, seitdem eine andere Art von Apparaten, die sogenannten Tangentenbussolen (Fig. 42) besonders für diese Zwecke vervollkommnet worden sind. Der Vortheil dieser Bussolen besteht darin, dass sie neben grosser Empfindlichkeit zugleich eine genauere Messung der Stromstärken gestatten. Wenn nämlich die Ablenkungen der Magnete sehr klein sind, so kann man die Stromstärken als proportional den trigonometrischen Tangenten der Ablenkungswinkel betrachten. Der Magnet ist, entweder selbst spiegelnd oder mit einem Spiegel fest verbunden, an einem Seidenfaden aufgehängt in einer kupfernen Hülse *A*,

die mit Spiegelglasplatten geschlossen ist. Der elektrische Strom kann durch die Rollen *B B* geleitet werden, welche auf Schlitten beweglich sind, um durch mehr oder minder

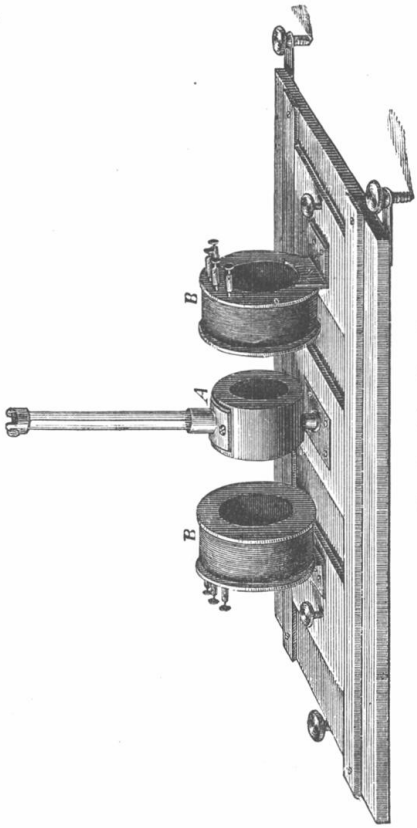

Fig. 42. Spiegelbussole.

grosse Annäherung an den Magneten die Empfindlichkeit des Instrumentes nach Belieben abzustufen. Um die Ablenkungen zu messen, wird parallel mit der Ruhelage des

Spiegels eine Theilung aufgestellt und deren Spiegelbild mit dem Fernrohr beobachtet, wie dies oben Kap. 4, §. 3 beschrieben wurde. Die scheinbaren Verschiebungen des getheilten Maassstabs sind dann den trigonometrischen Tangenten der Ablenkungswinkel direct proportional. Eine solche Bussole kann auch dazu dienen, die Ablenkungen einem grössern Zuhörerkreise sichtbar zu machen, indem man das Licht einer genügend hellen Lampe auf den Spiegel fallen lässt und das Spiegelbild mittels einer Linse auf einem Schirm auffängt. Um die Empfindlichkeit des Instrumentes zu erhöhen, schwächt man den Einfluss des Erdmagnetismus auf den abzulenkenden Magneten durch einen passend aufgestellten Magnetstab in der oben angedeuteten Weise.

5. Die Multiplicatoren und die nach den gleichen Principien wirkenden Bussolen werden vorzugsweise benutzt, wenn es sich darum handelt, gleichmässig anhaltende elektrische Ströme nachzuweisen oder ihre Stärke zu messen. Aendert sich die Stromstärke, so wird entsprechend auch die Ablenkung des beweglichen Magneten grösser oder kleiner. Schnellen Aenderungen der Stromstärke vermag derselbe aber nicht mit genügender Geschwindigkeit zu folgen, weil der bewegliche Magnet immer eine gewisse Trägheit hat. In solchen Fällen kann man häufig mit Vortheil den Nerven zum Nachweis der Ströme benutzen. Wie wir oben (Kap. 8, §. 7) gesehen haben, genügen bei einem frischen, gut erregbaren Nerven schon sehr schwache Ströme, um eine Erregung hervorzurufen, welche sich, wenn der Nerv mit dem zu ihm gehörigen Muskel in unversehrtem Zusammenhang befindet, als Zuckung zu erkennen gibt. Diese Zuckung tritt besonders bei der Schliessung, weniger sicher bei der Oeffnung des Stromes, aber auch bei jeder Schwankung, d. h. Veränderung der Stromstärke ein, wenn dieselbe mit genügender Geschwindigkeit verläuft. Man kann daher das etwaige Vorhandensein eines Stromes

auch mit Hülfe eines aus dem Nerven und dem zugehörigen Muskel bestehenden Präparates nachweisen, wenn man den Strom auf passende Weise dem Nerven zuleitet und durch geeignete Vorrichtungen (z. B. den in Fig. 17 abgebildeten Schlüssel) die Leitung plötzlich herstellt und unterbricht.* Handelt es sich um den Nachweis von Schwankungen in der Stromstärke, dann ist das Nervenmuskelpräparat selbst guten Multiplicatoren überlegen. Es haftet ihm aber diesen gegenüber der Nachtheil an, dass man mit ihm weder die Richtung eines Stromes noch den Sinn einer Veränderung der Stromstärke (ob dieselbe grösser oder kleiner geworden ist) bestimmen kann.

Wir wollen die Multiplicatoren, Bussolen, Nerv-Muskelpräparate und was sonst noch zum Nachweis elektrischer Ströme dienen kann, als stromprüfende Werkzeuge bezeichnen. Ihnen stellen wir die Elektrometer gegenüber, welche zum Nachweis oder zur Messung von elektrischen Spannungen oder von Elektricität im Zustand der Ruhe dienen.

6. Ein solches Elektrometer kann hergestellt werden durch Benutzung der Thatsache, dass ungleichnamige Elektricitäten sich anziehen, gleichnamige sich abstossen. Fig. 43 stellt ein einfaches, nach diesem Princip wirkendes Instrument dar. In einem Glasbehälter sind zwei sehr

---

* Man kann sich hierzu eines aus dem Hüftnerven und dem Gastrocnemius bestehenden Präparats bedienen oder auch des Hüftnerven mit dem ganzen Unterschenkel. Man nennt letzteres Präparat deshalb auch stromprüfenden Schenkel.

Aehnlich wie der stromprüfende Schenkel reagirt auch das Telephon auf selbst geringfügige Schwankungen der Stromstärke, welche es durch ein Geräusch anzeigt. Doch hat die Verwendung des Telephons in der Elektrophysiologie keinen grössern Umfang gewonnen, weil es bei den meist ausserordentlich grossen Leitungswiderständen den übrigen stromprüfenden Werkzeugen an Empfindlichkeit nicht gleichkommt.

leichte Streifen von dünnstem Blattgold an einem Messingstab befestigt. Das andere Ende des Stabes ragt aus dem Behälter hervor und endet in einem glatten Messingknopf. Theilt man diesem Knopf auf irgend eine Weise freie Elektricität mit (z. B. indem man ihn mit einer geriebenen Siegellackstange berührt), so geht die Elektricität durch den leitenden Draht auch auf die Goldblättchen über und diese stossen sich, da sie beide die gleiche Elektricität enthalten, gegenseitig ab. Ein solches Instrument gestattet, die Stärke der zugeführten Ladung einigermassen zu schätzen, da die Blättchen bei schwachen Ladungen weniger auseinanderweichen als bei starken. Eine genaue Messung ist aber mit ihm nicht möglich. Wir nennen es deshalb auch nicht Elektrometer, sondern Elektroskop. Ein genaue Messungen gestattendes Instrument ist dagegen das in Fig. 44 dargestellte Quadrant-Elektrometer von Thomson. Ein dünner, bisquitförmig ausgeschnittener Körper aus Aluminiumblech, die sogenannte Nadel, ist an einem dünnen Faden horizontal so aufgehängt, dass er sich um den Aufhängefaden als Achse drehen kann. Mit der Nadel fest verbunden ist ein Spiegelchen *s*, durch welches man die Drehungen der Nadel mit Hülfe von Scale und Fernrohr messen kann. An der untern Fläche der Nadel, in der Verlängerung des Aufhängefadens, ist ein Platindraht befestigt, welcher unten ein verticales

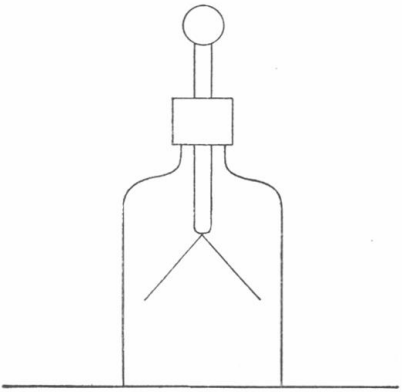

Fig. 43. Goldblatt-Elektroskop.

Platinblech trägt. Ein unter der Nadel befindliches Gefäss ist mit Schwefelsäure so weit gefüllt, dass jenes Platinblech ganz in die Schwefelsäure eintaucht. Dadurch wird bewirkt, dass etwaige Erschütterungen die Nadel nicht in pendelnde Schwingungen versetzen können, während Drehungen der Nadel um ihre Achse dadurch nicht verhindert werden.

Die Nadel befindet sich im Innern einer flachen me-

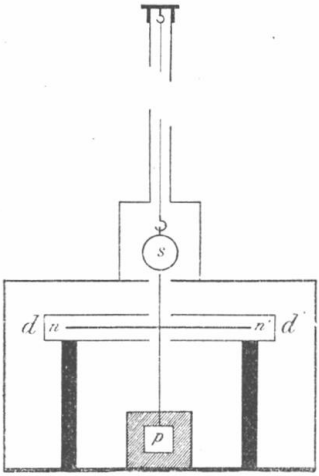

Fig. 44 a.
Quadrant-Elektrometer; senkrechter Durchschnitt durch das ganze Instrument.

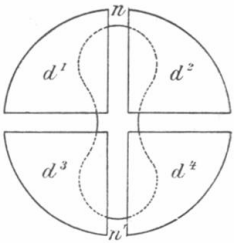

Fig. 44 b.
Ansicht von oben auf die in vier Quadranten getheilte Dose und die innerhalb derselben freischwebende Nadel.

tallenen Dose, welche aus vier Abtheilungen besteht (daher der Name: Quadrant-Elektrometer). Die diagonal einander gegenüberstehenden Quadranten d^1 und d^4 sind durch gut leitende Drähte miteinander verbunden, ebenso d^2 mit d^3.

Um mit diesem Instrument eine Messung auszuführen, verbindet man die Schwefelsäure durch einen in dieselbe eingetauchten Draht mit der einen Belegung einer geladenen Leidener Flasche. Die auf dieser angehäufte freie Elektricität geht auf die Schwefelsäure und die

Nadel über und ertheilt dieser eine hohe Spannung. Die Quadranten der Dose werden leitend mit der Erde verbunden, um etwa auf ihnen vorhandene Spannungen aufzuheben. Nachdem diese letztere Verbindung wieder aufgehoben worden, stellt man die Nadel durch Drehung ihres obern Aufhängungspunktes so, dass sie genau symmetrisch zu den vier Quadranten der Dose steht. Teilt man jetzt den miteinander verbundenen Quadranten d^1 und d^4 und den beiden andern verschiedene Spannungen mit, so wird die Nadel abgelenkt.

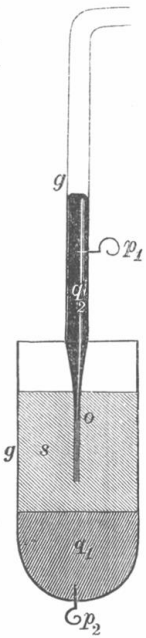

Fig. 45. Capillar-Elektrometer. Das sehr dünn ausgezogene Glasrohr enthält oberhalb *o* Quecksilber, unterhalb Schwefelsäure.

Angenommen, die Nadel wäre mit positiver Elektricität geladen. Verbinden wir die Quadranten d^1 und d^4 mit dem positiven, die Quadranten d^2 und d^3 mit dem negativen Pol einer Kette.* Diese Quadranten werden dadurch auch geladen und zwar d^1 und d^4 positiv, d^2 und d^3 negativ. Erstere wirken daher abstossend, letztere anziehend auf die Nadel, und alle vier Quadranten wirken in gleichem Sinne drehend auf die Nadel. Diese Drehung wird so weit gehen, bis der durch die Drillung oder Torsion des Aufhängefadens bedingte Widerstand der drehenden Kraft das Gleichgewicht hält. Der Winkel, um welchen die Nadel gedreht wird, kann daher als Maass für die Grösse der den Quadranten mitgetheilten Spannungen dienen.

Auf einem ganz andern Princip beruht das Capillar-Elektrometer von Lippmann, welches Fig. 45 darstellt. Das Glasrohr *g* ist an einem Ende zu einer sehr feinen

* Die Kette bleibt dabei offen, da die Quadrantenpaare voneinander isolirt sind.

Capillare ausgezogen. Giesst man Quecksilber in das Rohr, so kann dasselbe durch die enge Capillare nicht ausfliessen, sondern dringt nur eine Strecke weit in dieselbe ein; wie weit, das hängt von dem Druck des Quecksilbers und dem Durchmesser der Capillare ab. Man taucht das Glasrohr mit der Capillare nach abwärts in Schwefelsäure, welche in dem Glasgefässe *g* über einer Schicht Quecksilber steht. Durch einen Druck, den man auf das Quecksilber im Glasrohr einwirken lässt, treibt man etwas von demselben durch das Capillarrohr aus. Wenn der Druck nachlässt, geht das Quecksilber wieder zurück und Schwefelsäure tritt in das Capillarrohr ein. Man sucht jetzt mit einer Lupe oder einem Mikroskop von schwacher Vergrösserung die Grenze zwischen Quecksilber und Schwefelsäure innerhalb des Capillarrohrs auf und stellt die Lupe oder das Mikroskop so, dass diese Grenze mit einem feinen Faden oder einem bestimmten Theilstrich einer Theilung (eines sogenannten Ocularmikrometers) zusammenfällt. Wenn man jetzt das Quecksilber des Schwefelsäuregefässes mit dem positiven, das Quecksilber im Glasrohr mit dem negativen Pol einer Kette verbindet, so sieht man, dass das Quecksilber in der Capillare nach dem weitern Theile der Glasröhre zurückweicht.

Da die Verbindung zwischen den Polen der Kette durch leitende Substanzen, Quecksilber und (wasserhaltige) Schwefelsäure bewirkt wird, so haben wir es nicht mit einer offenen, sondern mit einer geschlossenen Kette zu thun. Es geht also ein elektrischer Strom vom Quecksilber im Gefäss *g* zu dem Quecksilber in der Capillare durch die Schwefelsäure. Letztere wird daher elektrolytisch zersetzt und es tritt an der Oberfläche des Quecksilbers in der Capillarröhre (dem negativen Pol) Wasserstoff auf. Dadurch wird das Quecksilber polarisirt, d. h. es tritt an ihm eine elektromotorische Kraft auf, welche der von der Kette stammenden entgegengesetzt gerichtet ist. Diese Kraft wächst schnell, bis sie der ersten genau gleich ist. Dann hört der elektrische Strom

auf und es ist gerade so, als wenn die Kette offen wäre.

Durch die Ausscheidung von Wasserstoff am Quecksilber werden die capillaren Eigenschaften des letztern geändert. Dies ist der Grund, warum die Quecksilberkuppe sich anders einstellt. Führt man dieselbe durch einen auf das Quecksilber ausgeübten Druck wieder in ihre frühere Stellung zurück, so ist die Höhe des dazu erforderlichen Drucks ein genaues Maass für die dem Quecksilber mitgetheilte elektrische Spannung. Kleinere Spannungen kann man auch einfach nach dem Grade der Verschiebung, welche sie bewirken, abschätzen.

Ein grosser Vorzug des Capillar-Elektrometers ist es, dass es Schwankungen der Spannung schnell anzeigt und zugleich den Sinn der Aenderung, ob Zunahme oder Abnahme, angibt. Es vereinigt also, wenn es sich um die Untersuchungen von Spannungsänderungen handelt, die Vorzüge des stromprüfenden Froschschenkels mit denen des Multiplicators. Will man die Spannungsänderungen einem grössern Zuhörerkreise demonstriren, so kann man die Bewegungen der Quecksilberkuppe auf einen Schirm projiciren. Man beleuchtet die Grenze zwischen Quecksilber und Schwefelsäure und entwirft von ihr mittels Linsen ein scharfes Bild. Da das Quecksilber undurchsichtig, die Schwefelsäure durchsichtig ist, so zeigt sich auf dem Schirm ein scharfes Bild der Quecksilberkuppe, als dunkler Streifen von dem hellen Theil gut abgegrenzt. Treten Schwankungen der Spannung ein, so zeigen sich diese am Bilde. Lässt man das Bild auf einen verticalen Spalt fallen und bewegt hinter demselben ein photographisch empfindliches Papier mit gleichförmiger Geschwindigkeit, so kann man den zeitlichen Verlauf der Schwankungen an den so gewonnenen Photogrammen genauer untersuchen.

7. Mit einem dieser im Vorstehenden beschriebenen stromprüfenden Werkzeuge oder Elektrometer ist man in

der Lage festzustellen, ob thierische oder pflanzliche Theile elektrische Wirkungen auszuüben im Stande sind. Man hat nur die zu untersuchenden Theile mit dem betreffenden Apparat zu verbinden und zu sehen, ob bei der gewählten Anordnung ein Strom vorhanden ist oder eine elektrische Spannung sich zeigt. Je empfindlicher aber das benutzte Werkzeug ist, desto schwieriger ist es auch bei Verbindung desselben mit irgendwelchem thierischen Theil keine Wirkung zu erhalten, und es würde zu Irrthümern führen, wollte man diese Wirkungen alle als durch die thierischen Theile selbst hervorgerufen ansehen. Verbindet man z. B. die Enden eines Multiplicators* mit zwei Drähten von demselben Metall, z. B. Kupfer, und taucht diese in eine leitende Flüssigkeit, z. B. verdünnte Schwefelsäure, so erhält man stets starke Ablenkungen der Magnetnadel, weil die Kupferdrähte niemals so gleichartig sind, dass sie nicht schon an sich einen schwachen Strom erzeugen. Nimmt man statt der Kupferdrähte solche von Platin, so kann man diese durch sorgfältiges Reinigen allerdings ganz gleichartig machen, aber die Gleichartigkeit ist schwer dauernd zu erhalten; es entstehen bald auch bei diesem Metall Ströme, die nur von ungleichartiger Beschaffenheit der metallischen Oberflächen herrühren. Glücklicherweise gibt es Combinationen von Metallen mit Flüssigkeiten, welche von diesen Fehlern frei sind. Zwei Stücke von Zink, welche man durch Bestreichen mit Quecksilber an ihrer Oberfläche amalgamirt, d. h. mit einem Ueberzuge von Zinkamalgam, einer Verbindung von Zink und Quecksilber, gleichmässig bedeckt hat, erweisen sich als vollkommen gleichartig, wenn sie in eine Auflösung von schwefelsaurem Zink getaucht werden, und diese Metalle behalten ihre Gleichmässigkeit auch dann, wenn elektrische Ströme

* Wo im Folgenden nicht ausdrücklich das Gegentheil gesagt ist, wird immer angenommen, dass die Untersuchung mit Hülfe des Multiplicators geschieht.

durch die Metalle und die Flüssigkeit geleitet werden. Wenn man den Multiplicatordraht mit solchen Streifen von amalgamirtem Zink verbindet und diese in die schwefelsaure Zinklösung taucht, so zeigt selbst ein sehr empfindlicher Multiplicator keine Ablenkung. Während es also zu groben Täuschungen Veranlassung geben würde, wenn man die Multiplicatordrähte unmittelbar an die zu untersuchenden thierischen Gewebe anlegen wollte, da sich in diesem Falle an den Berührungsstellen selbst elektrische Spannung entwickelt, kann man bei Benutzung des amalgamirten Zinks und der Lösung von schwefelsaurem Zink jede fremde Elektricitätsquelle ausschliessen. Man kann daher bei geeigneter Einschaltung thierischer Gewebe sicher sein, dass Ablenkungen der Magnetnadel, welche man beobachtet, wirklich von elektrischen Kräften herrühren, die in den thierischen Theilen ihren Sitz haben.

8. Zur Ausführung derartiger Untersuchungen hat Du Bois-Reymond, welchem wir hauptsächlich unsere Kenntniss von den elektrischen Erscheinungen der thierischen Gewebe verdanken, folgende Einrichtung benutzt (Fig. 46). Die Enden des Multiplicatordrahtes werden mit zwei Trögen oder Gefässen verbunden, die aus Zink gegossen, an ihrer äussern Fläche lackirt, an ihrer innern Höhlung aber sorgfältig amalgamirt sind. In diese Höhlung wird eine Lösung von schwefelsaurem Zink gegossen und Bäusche, die aus vielen Bogen Fliesspapier zusammengelegt und mit derselben Lösung durchtränkt sind, werden so über den Rand des Gefässes gebogen, dass sie zum Theil in die Lösung tauchen, zum Theil über den Rand hervorragen und dort mit einer scharf abgeschnittenen lothrechten Ebene endigen. Kleine Schilder aus einer isolirenden Substanz (Hartgummi) halten die Bäusche mit Hülfe von Kautschukringen in ihrer Lage fest. Rückt man die Gefässe so weit zusammen, dass die Bäusche einander berühren, oder überbrückt man den Zwischenraum zwischen den Bäuschen mit einem dritten ebenfalls

mit schwefelsaurer Zinklösung getränkten Bausch, so bleibt die Multiplicatornadel unbewegt, zum Beweise, dass in der ganzen Vorrichtung keine Ursache von Stromentwickelung vorhanden ist. Bringt man jetzt an Stelle des dritten Bausches den zu untersuchenden Körper und erhält eine Ablenkung der Nadel, so ist der Beweis geliefert, dass innerhalb dieses Körpers eine stromentwickelnde Ursache ihren Sitz haben muss. Die Vorrichtung

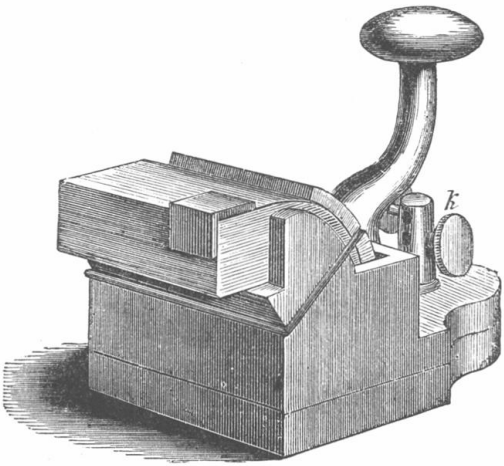

Fig. 46. Gleichartige Ableitungsgefässe von Du Bois-Reymond.

hat nur noch den einen Nachtheil, dass durch die Berührung mit der concentrirten Lösung von schwefelsaurem Zink die thierischen Theile angeätzt und in ihren Lebenseigenschaften beeinträchtigt werden. Um dies zu vermeiden, bedient man sich sogenannter Schutzschilder, d. h. dünner Platten von plastischem Thon (Porzellanerde), welcher mit einer verdünnten Kochsalzlösung von 0,6 bis 0,7 Proc. angerührt ist, indem man diese auf die Fliesspapierbäusche da auflegt, wo die zu untersuchenden Gewebe angelegt werden sollen. Der Thon schützt die

Gewebe vor der unmittelbaren Berührung mit der concentrirten Zinklösung; die in den Geweben vorhandenen elektrischen Wirkungen können aber, da der mit der Salzlösung durchtränkte Thon leitungsfähig ist, zum Zinkvitriol und so zum Multiplicator gelangen.

9. Die eben beschriebenen Ableitungsgefässe von Zink (Fig. 46) reichen für eine solche Untersuchung nicht immer aus. Die Zwischenlagerung thierischer Theile zwischen die Bäusche ist zuweilen schwer auszuführen. Zuweilen ist es auch wünschenswerth, einzelne Punkte

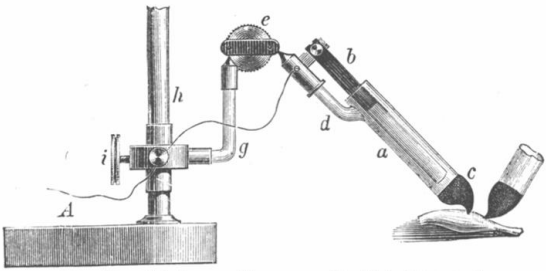

Fig. 47. Ableitungsröhren von Du Bois-Reymond.

derselben mit dem Multiplicator in Berührung zu bringen. Man wendet dann besser eine andere Art von Ableitungsgefässen an, welche in Fig. 47 dargestellt sind. Auf dem Stativ *A* ist die platte Glasröhre *a* befestigt. Das Gelenk *e* und die Verschiebung an der Säule *h* gestatten, der Glasröhre jede wünschenswerthe Lage zu geben. In dieser Röhre steckt ein amalgamirter Zinkblechstreifen *b*, der mittels eines Drahts mit dem Multiplicator verbunden werden kann. Das Glasrohr ist unten geschlossen durch einen Stopfen von plastischem, mit verdünnter Kochsalzlösung angerührtem Thon, dessen hervorragenden Theil man in eine Spitze formen kann, welche den zu untersuchenden Leiter in möglichst geringer Ausdehnung be-

rührt. Der Raum der Glasröhre wird mit concentrirter Lösung von Zinkvitriol gefüllt und so die unpolarisirbare und gleichartige Leitung zwischen dem Zinkstreif und der Thonspitze hergestellt. Ein zweiter ganz gleicher Apparat (in der Figur nur theilweise dargestellt) besorgt die Ableitung von dem andern Punkte des Leiters.

ZEHNTES KAPITEL.

1. Elektromotorische Kraft; 2. Elektrisches Gefälle; 3. Untersuchung der Spannungen bei Stromvertheilung; 4. Ableitender Bogen; 5. Strömungscurven und Spannungscurven; 6. Messung der Spannungsdifferenzen mittels des Elektrometers; 7. Mittels des Multiplicators; 8. Runder Compensator.

1. Wenn man auf die im vorigen Kapitel angegebene Weise Muskeln oder Nerven untersucht, so wird man je nach der Art der Verbindung mit dem Multiplicator bald gar keine, bald schwächere, bald stärkere Ablenkungen der Magnetnadel beobachten. Ein und derselbe Körper, z. B. ein Stück Muskel, kann bei einer bestimmten Lage einen starken Strom geben, bei einer andern Lage gar keinen. Da bei den Vorsichtsmaassregeln, die wir getroffen haben, die Entwickelung von Strömen durch die Art der Verbindung selbst ausgeschlossen ist, so müssen wir annehmen, dass die Kräfte, welche diese Ströme veranlassen, in den untersuchten Geweben vorhanden sind. Um die wechselnden Erfolge und ihre Abhängigkeit von der Lagerung der thierischen Theile verständlich zu machen, ist es daher nothwendig, vorher auseinanderzusetzen, wie sich in den Leitern vorhandene elektromotorische Kräfte bei der von uns gewählten Untersuchungsmethode durch Ablenkung der Multiplicatornadel bemerklich machen können.