

## **Universitäts- und Landesbibliothek Tirol**

### **Allgemeine Physiologie der Muskeln und Nerven**

**Rosenthal, Isidor**

**Leipzig, 1899**

Zehntes Kapitel

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 Entwicklung 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.

Kehren wir nochmals zu der einfachen Kette zurück (Fig. 40, S. 150), an welcher wir zuerst die Wirkung des elektrischen Stromes auf eine Magnethadel beobachtet haben. Ein Stück Zink und ein Stück Kupfer tauchen in verdünnte Schwefelsäure und ihre hervorragenden Enden sind durch einen Draht miteinander verbunden. In diesem Zustande nennt man die Kette geschlossen. In derselben kreist ein Strom, welcher im Draht vom Kupfer zum Zink, in der Flüssigkeit vom Zink zum Kupfer gerichtet ist. Untersuchen wir den Schliessungsdraht allein, so finden wir in ihm, wenn er nicht mit der Kette verbunden ist, keinen Strom, auch dann nicht, wenn er zu einem Kreise geschlossen wird. Auch in der Kette, solange sie nicht geschlossen ist, besteht kein Strom. Trotzdem muss die Ursache, welche in der geschlossenen Kette den Strom veranlasst, in der Kette gelegen sein. Verbindet man die aus der Flüssigkeit hervorragenden Enden der Metalle mit einem Elektrometer, so findet man, dass an ihnen elektrische Spannung herrscht. Diese Spannung ist an dem Kupferende positiv, an dem Zinkende negativ. Verbinden wir die beiden Metalle durch den Schliessungsdraht, so gleichen sich die beiden entgegengesetzten Spannungen durch den Draht hindurch aus. Der Vorgang dieser Ausgleichung ist es, den wir elektrischen Strom nennen. Die Ursache, welche bei der offenen Kette die Spannung an den Polen, bei der geschlossenen Kette den Strom veranlasst, nennen wir die elektromotorische Kraft der Kette.\*

Wenn die beiden Metalle nicht aus der Flüssigkeit

---

\* Die Quelle, aus der sich die entgegengesetzten Elektrizitäten immer wieder ergänzen, ist in den chemischen Vorgängen im Innern der Kette zu suchen. Dort verbindet sich das Zink mit dem durch Zersetzung des Wassers frei gewordenen Sauerstoff und der Schwefelsäure zu Zinksulfat. Die durch diese chemische Action erzeugte Energie wird bei der gewählten Anordnung in Energie der elektrischen Strömung umgewandelt.

hervorragend, sondern sich innerhalb derselben berühren, so ist offenbar die Kette auch geschlossen, nur dass der Schliessungsbogen innerhalb der Flüssigkeit gelegen ist. Durch diesen muss dann der elektrische Strom vom Kupfer zum Zink, in der Flüssigkeit vom Zink zum Kupfer gehen. Dass dem wirklich so ist, können wir daran erkennen, dass sich an der eingetauchten Kupferfläche Bläschen entwickeln. Durch den elektrischen Strom wird das Wasser in seine Bestandtheile, Wasserstoff und Sauerstoff, zerlegt. Ersterer tritt am Kupfer auf und entweicht in Gestalt von Bläschen, letzterer verbindet

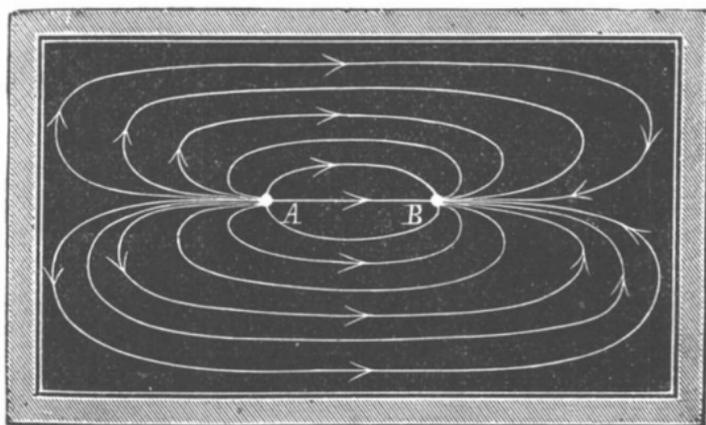


Fig. 48. Stromverzweigung in unregelmässigen Leitern.

sich mit dem Zink und der Schwefelsäure zu Zinksulfat. Obgleich wir jetzt keinen äusserlich vorhandenen Schliessungsbogen haben, sind wir dennoch im Stande, die in der Flüssigkeit und in den eingetauchten Metallen circulirenden Ströme nachzuweisen, und zwar mit Hülfe eines Principes, welches die Vertheilung elektrischer Ströme genannt wird.

Wir wollen annehmen, eine Kette  $k$  sei durch den Schliessungsdraht nicht unmittelbar geschlossen, sondern von jedem Pole gehe ein Draht aus, welcher den irgendwie gestalteten Leiter Fig. 48 in zwei Punkten  $A$  und

*B* berühre. Die elektrischen Ströme gehen in diesem Falle durch den Körper, aber nicht etwa bloß auf der geraden Verbindungslinie zwischen *A* und *B*, sondern sie vertheilen sich überall im Körper; sie schlagen eine Menge von Leitungsbahnen ein, welche alle in den Punkten *A* und *B* zusammentreffen, an denen die elektrischen Ströme in den Körper ein- und aus ihm austreten. Wenn der eingeschaltete Körper eine einfache Gestalt hat, so lässt sich auf dem Wege der Rechnung die Gestalt der einzelnen Leitungsbahnen bestimmen; bei unregelmässigen Körpern ist dies schwer, aber durch den Versuch kann man auch hier nicht nur den Nachweis führen, dass die Elektrizität sich durch den ganzen Körper verbreitet, sondern auch die Bahnen bestimmen, in denen die einzelnen Stromantheile sich bewegen.

Betrachten wir ein einfaches Beispiel, etwa einen langen cylindrischen Stab, in welchem die Elektrizität an der einen Endfläche ein- und an der andern austritt, so ist es schon an und für sich wahrscheinlich, dass die Bahnen einfach der Länge des Stabes entlang parallel zur Achse verlaufen werden. Wir können den Stab durch ein Bündel einzelner Drähte ersetzen, dann wird in jedem dieser Drähte ein Theil des ganzen Stromes verlaufen. In ähnlicher Weise kann man sich jeden Körper, durch welchen ein Strom an zwei beliebigen Stellen ein- und ausgeleitet wird, in eine Anzahl von dünnen Stromfäden zerlegt denken, durch deren jeden ein gewisser Bruchtheil des ganzen Stromes fließt; nur sind dann die einzelnen Stromfäden von ungleicher Länge und verschiedener Gestalt.

2. Wir haben gesehen, dass an den Polen einer offenen Kette eine elektrische Spannung besteht, und dass die entgegengesetzten Spannungen der beiden Pole die Ursache des Stromes im Schliessungsdrahte sind. Solange die chemische Wirkung zwischen den Metallen und der Flüssigkeit stattfindet, solange wird auch den Polen

Spannung zugeführt, welche sich durch den Schliessungsbogen ausgleicht und den Strom in ihm unterhält. Verbinden wir, während der Strom den Draht durchfliesst, die einzelnen Punkte desselben nacheinander mit dem Elektrometer, so zeigt sich, dass alle Punkte desselben Spannung zeigen. Aber diese ist an den verschiedenen Punkten des Schliessungsdrahtes verschieden. Am Berührungspunkt mit dem positiven Pole besteht die grösste positive Spannung, am Berührungspunkte mit dem negativen Pole eine ebenso grosse negative Spannung; die zwischenliegenden Punkte zeigen alle Uebergänge zwischen diesen grössten und einander entgegengesetzten Werthen.

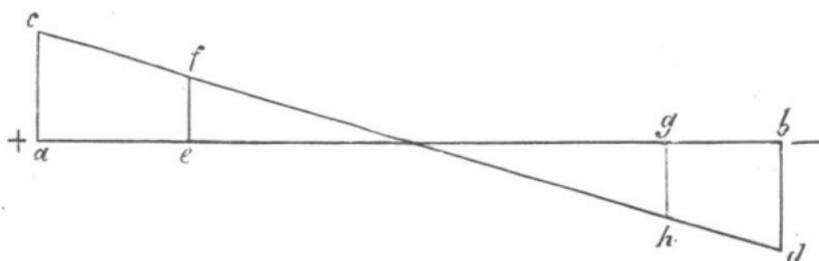


Fig. 49. Elektrisches Gefälle.

Der Draht zerfällt daher in einen positiven und einen negativen Theil, während in der Mitte ein Punkt vorhanden ist, der die Spannung Null hat. Wir können dies bildlich darstellen, indem wir die an jedem Punkte des Drahtes herrschende Spannung durch eine senkrecht auf den Draht gezeichnete Linie ausdrücken, deren Länge der Spannung des betreffenden Punktes proportional ist. Sei  $ab$  (Fig. 49) der Draht und die Linie  $ac$  der Ausdruck für die Spannung an seinem einen Ende, welches mit dem positiven Pol verbunden ist. Um anzuzeigen, dass am andern Ende  $b$ , welches mit dem negativen Pol verbunden ist, die Spannung negativ, also von entgegengesetzter Art ist, zeichnen wir die Linie  $bd$  nach unten von  $ab$ . In der Mitte herrscht die Spannung  $= 0$ ; an irgendeinem Punkte zwischen der Mitte und

dem Ende  $a$ , etwa in  $e$ , muss eine positive Spannung herrschen, welche kleiner ist wie die in  $a$ , aber grösser als 0. Sie sei ausgedrückt durch die Linie  $ef$ . Ebenso herrscht in einem Punkte zwischen der Mitte und dem Ende  $b$ , etwa in  $g$ , eine gewisse negative Spannung, welche wir durch die Linie  $gh$  ausdrücken. Wenn der Draht ganz gleichmässig ist, so nehmen die positiven Spannungen von dem Ende  $a$  nach der Mitte hin gleichmässig ab, und ebenso die negativen Spannungen von dem Ende  $b$  nach der Mitte hin. Verbinden wir die Enden der Linien, welche die Spannungen ausdrücken, so erhalten wir eine schräg verlaufende gerade Linie, welche den Draht in der Mitte schneidet und deren Abstände vom Drahte an allen Punkten die elektrischen Spannungen dieser Punkte darstellen.

Diese allmähliche Abnahme der Spannungen im Drahte kann offenbar als der eigentliche Grund für die Bewegung der Elektrizität durch den Draht angesehen werden. An jeder Stelle des Drahtes stossen Theile aneinander, in welchen die Spannung von links nach rechts hin allmählich kleiner wird, und so wird die Elektrizität veranlasst, in der Richtung von links nach rechts zu fliessen. Es herrscht hier ein ähnliches Verhältniss, wie in einer Röhre, durch welche Wasser fliesst; in diesem Falle ist es der Druck des Wassers, welcher von dem einen nach dem andern Ende hin allmählich und gleichmässig abnimmt. Um diese Aehnlichkeit anzudeuten, benutzen wir einen Ausdruck, welcher von strömenden Flüssigkeiten hergenommen ist; wir nennen die allmähliche Abnahme der Spannungen das elektrische Gefälle.

Es seien  $ab$  und  $cd$  zwei Drähte aus gleichem Material und von gleicher Dicke aber von verschiedener Länge (Fig. 50). Ist  $ab$  zwischen die Pole einer Kette eingeschaltet, so würde das Gefälle durch die schräge Linie  $ef$  dargestellt werden. Wird  $ab$  entfernt und  $cd$  zwischen die Pole derselben Kette eingeschaltet, so werden die Spannungen an den Enden dieselben sein, das Gefälle

für den Draht  $cd$  wird durch die schräge Linie  $gh$  dargestellt werden können. Wie man sieht, verläuft für den kürzeren Draht die Linie viel steiler, das Gefälle ist ein stärkeres; dementsprechend geht die Strömung der Elektrizität in diesem Drahte mit grösserer Geschwindigkeit vor sich, der elektrische Strom ist stärker. Nehmen wir an, die beiden Drähte  $ab$  und  $cd$  wären gleichzeitig mit den Polen der Kette verbunden. Der Strom theilt sich jetzt zwischen beiden Drähten, durch jeden geht ein Antheil. Auch in diesem Falle wird die

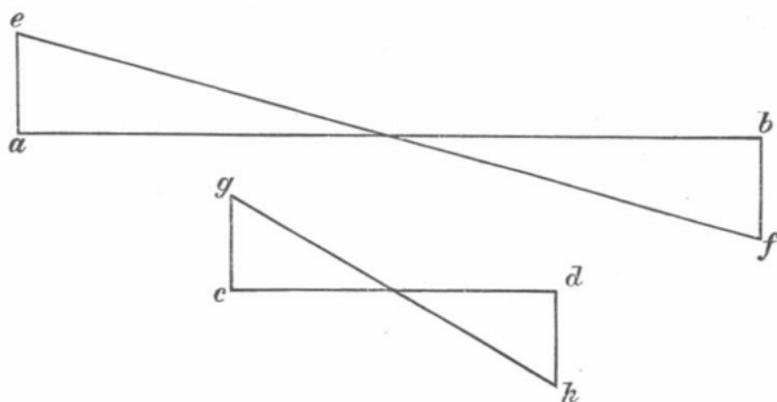


Fig. 50. Gefälle in verschiedenen Drähten.

Spannung an ihren Enden gleich sein, aber die Gefälle sind verschieden. Setzen wir an Stelle der beiden Drähte sehr viele einzelne Drähte, so gilt für alle diese dasselbe, und wenn die Drähte zu einem gemeinschaftlichen leitenden Körper zusammenschmelzen, so trifft das Gleiche auch für ihn noch zu. Wir können uns dann den ganzen Körper bestehend denken aus einzelnen Drähten, auf deren jedem ein bestimmtes Gefälle herrscht, dessen Steilheit von der Länge des betreffenden Drahtes abhängt. Diese Drähte sind aber nichts anderes als die Leitungsbahnen der elektrischen Strömung, von welchen wir in §. 1 gesprochen haben. Auch auf diesen Leitungsbahnen müssen bestimmte Gefälle vorhanden sein, und zwar um so steilere,

je kürzer die Bahnen zwischen der Ein- und der Austrittsstelle der elektrischen Strömung sind.

3. Kehren wir zu einem einfachen Drahte zurück, durch welchen ein Strom fliesst. Wenn wir zwei Punkte desselben mit zwei Elektrometern verbinden, so werden diese verschiedene Spannungen anzeigen; der Unterschied wird um so grösser sein, je weiter die beiden Punkte voneinander entfernt sind. Verbinden wir die Punkte durch einen gebogenen Draht, so können wir diesen neuen Draht und den Theil des ursprünglichen, welcher

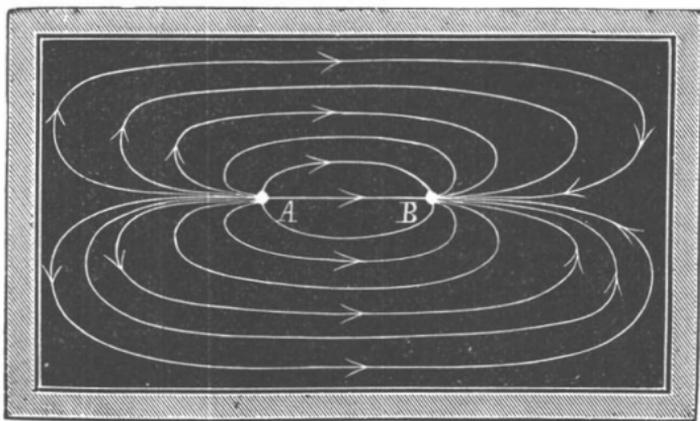


Fig. 51. Strombahnen in einem Leiter.

zwischen den berührten Punkten liegt, als einen verzweigten Leiter auffassen. Durch den angelegten Bogen wird dann ein Bruchtheil des Stromes fließen, welcher von dem Punkte grösserer Spannung zu dem Punkte geringerer Spannung gerichtet ist. Wenn in dem angelegten Draht ein Multiplikator eingeschaltet ist, so wird die Nadel desselben eine Ablenkung erfahren. Dasselbe gilt auch für jede der vielen Strombahnen eines irgendwie gestalteten Leiters. Wenn sich in dem Körper *AB* (Fig. 51) die Elektrizität in verschiedenen Leitungsbahnen bewegt, so muss ein Strom entstehen, wenn wir

einen gebogenen Draht mit seinen Enden an Punkte anlegen, an denen verschiedene Spannung herrscht, gleichgültig ob diese Punkte zu derselben oder zu verschiedenen Strombahnen gehören. Wenn der gebogene Draht einen Multiplicator enthält, so wird die Nadel abgelenkt werden. Dahingegen muss es auf zwei verschiedenen Leitungsbahnen immer Punkte geben, welche gleiche Spannung haben. Denn auf jeder solchen Bahn beginnt die Spannung mit einem gewissen positiven Werthe (bei *A*) und geht durch den Werth Null hindurch zu einem gewissen negativen Werthe (bei *B*). Die Multiplicatornadel wird also in Ruhe bleiben müssen, wenn wir die beiden Enden des Multiplicatordrahts nicht an zwei Punkte verschiedener Spannung, sondern an zwei Punkte gleicher Spannung anlegen. Hierdurch sind wir in den Stand gesetzt, bei einem jedem Körper, in welchem elektrische Ströme in irgendeiner Weise sich bewegen, zu untersuchen, ob zwei Punkte gleiche oder ungleiche Spannung haben. Durch eine systematische Untersuchung dieser Art werden wir also einen Einblick in die Form und Lage der Leitungsbahnen im Innern des betreffenden Körpers gewinnen.

4. Legen wir an irgendeinen von Strömen durchflossenen Leiter einen gekrümmten Draht mit seinen beiden Endpunkten an, so kann sich ein Theil der Ströme, welche im Leiter vorhanden sind, auch durch diesen Draht ergiessen. Wir leiten also gleichsam einen Theil der Strömung aus dem Körper ab, um ihn der Untersuchung zugänglich zu machen. Unter Umständen kann dies auf die Strömungsvorgänge in dem Leiter verändernd einwirken. Wir wollen annehmen, dass dies nicht der Fall sei, dass also die Spannungen an den berührten Punkten durch die Anlegung des Drahtes an den Leiter nicht wesentlich geändert werden.\* Dann wird die Rich-

---

\* Unter welchen Umständen diese Annahme zutrifft, wird aus den weiteren Erörterungen hervorgehen; jedenfalls lassen sich die Einrichtungen derart treffen, dass es der Fall ist.

tung und Stärke des Stromes, welcher in dem Leiter entsteht, nur von dem Unterschied der Spannungen an den berührten Punkten und von dem Widerstand des angelegten Leiters abhängen.

Einen solcher Art an einen von Strömen durchflossenen Leiter angelegten Draht nennen wir einen ableitenden Bogen, die Enden des Drahtes, mit denen er den zu untersuchenden Leiter berührt, die Fusspunkte des Bogens und die Entfernung der Fusspunkte voneinander seine Spannweite.

Auf die Beschaffenheit des Bogens kommt es im übrigen nicht an. Er kann aus einem oder mehrern Drähten zusammengesetzt sein, er kann feuchte Leiter enthalten oder nicht. Nur eine Bedingung muss erfüllt sein: Durch die Berührung des ableitenden Bogens mit dem zu untersuchenden Leiter müssen keine elektrischen Wirkungen entstehen. Wir haben schon gesehen, dass dies bei Anlegung metallischer Drähte an die feuchten thierischen Theile nicht zu vermeiden ist. Deswegen müssen also die Drahtenden des Bogens mit den oben beschriebenen Ableitungsgefässen oder Ableitungsröhren (Fig. 46 und 47) verbunden werden. Ein so beschaffener Bogen, der an und für sich und durch seine Anlegung an den zu untersuchenden Leiter keine Ursache zur Stromentwicklung gibt, wird ein gleichartiger Bogen genannt.

Um eine vollständige Kenntniss von der Vertheilung der Spannungen in einem Leiter zu erlangen, müssten wir augenscheinlich alle Punkte desselben nach und nach mit den Fusspunkten des gleichartigen ableitenden Bogens berühren. Dies ist für die Oberfläche des Körpers leicht möglich; für das Innere schwer, häufig gar nicht ausführbar. Wir müssen uns daher in der Regel mit der Untersuchung der Oberfläche begnügen und müssen sehen, welche Schlüsse aus ihr auf die Beschaffenheit des Innern gezogen werden können.

5. Zwei Fälle sind zu unterscheiden. Entweder ist der zu untersuchende Körper an und für sich elektrisch unwirksam und es werden ihm von aussen elektrische Ströme zugeführt, deren Vertheilung im Innern untersucht werden soll. Oder aber die untersuchten Körper sind selbst Sitz elektromotorischer Kräfte und die dadurch hervorgerufenen Strömungen bilden den Gegenstand der Untersuchung. Dieser Fall liegt uns bei den Muskeln und Nerven vor. Wenn bei Einschaltung derselben zwischen den Enden eines gleichartigen Bogens elektrische

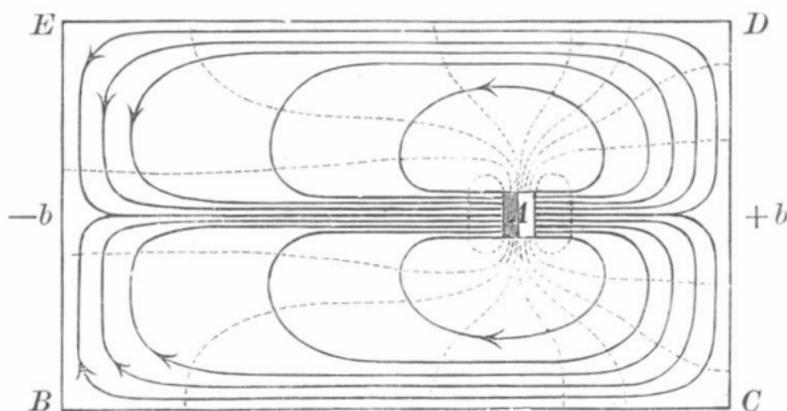


Fig. 52. Strömungskurven und Spannungskurven.

Wirkungen sich zeigen, so müssen diese in den thierischen Theilen selbst ihren Ursprung haben. Wenn in andern Fällen keine solche Wirkung auftritt, so kann dies davon herrühren, dass bei der gewählten Anordnung die Fusspunkte des ableitenden Bogens an Stellen gleicher Spannung angelegt worden sind.

Sei  $BCDE$  (Fig. 52) ein Durchschnitt durch einen Körper, in welchem eine elektromotorische Kraft vorhanden ist. Der Einfachheit wegen wollen wir annehmen, der Körper sei ein regelmässiger Cylinder und die elektromotorische Kraft in seiner Achse gelegen. Dann wird die Vertheilung der Strombahnen rings um die Achse vollkommen symmetrisch angeordnet sein und das, was

*† im Längsschnitt gezeichnet*

wir für den gezeichneten Durchschnitt  $BCDE$  entwickeln, wird auch für jeden andern durch die Achse gelegten Durchschnitt gelten. Im Punkte  $A$  sei der Sitz der elektromotorischen Kraft\*, welche die positive Elektrizität nach rechts und die negative Elektrizität nach links hin in Bewegung setzt. Der ganze Körper wird dann mit Strömungsbahnen erfüllt sein. In dem Cylinder haben wir uns diese Bahnen flächenartig zu denken und erhalten so Strömungsflächen, welche einander zwiebel-schalenartig umhüllen. In unserm Durchschnitt stellen sie sich als geschlossene Curven dar, die alle durch den Punkt  $A$  gehen. Sie sind in der Figur durch ausgezogene Linien dargestellt. Auf jeder dieser Bahnen herrscht, wie wir wissen, ein bestimmtes Gefälle, d. h. auf jeder derselben ist der Punkt dicht rechts neben  $A$  am stärksten positiv, die Spannung nimmt bis zur Mitte hin, wo sie Null ist, allmählich ab, wird dann negativ und dicht links neben  $A$  ist die negative Spannung am grössten. Dies gilt für alle Curven oder Leitungsbahnen. Auf jeder derselben gibt es einen Punkt, wo die Spannung  $= 0$  ist, rechts von ihm einen, wo die Spannung  $+ 1$  ist, noch weiter rechts einen, wo die Spannung  $+ 2$  ist, bis zur grössten Spannung bei  $A$ , und ebenso gibt es auf jeder Curve links von dem Nullpunkte Punkte von der Spannung  $- 1$ ,  $- 2$  u. s. w. Verbinden wir alle Punkte gleicher Spannung miteinander, so erhalten wir ein zweites System von Curven, welche auf den Strömungscurven normal oder senkrecht stehen. Einige von ihnen sind in unserer Figur durch punktirte Linien dargestellt. Wir haben eine Curve, welche alle Punkte der Spannung Null verbindet, eine andere für die Spannung  $+ 1$  u. s. f. Diese Curven werden Spannungscurven

---

\* Um für diese elektromotorische Kraft eine physikalische Unterlage zu haben, können wir uns denken, der Cylinder bestehe aus einer leitenden Flüssigkeit, und im Punkte  $A$  sei ein Körper, welcher halb aus Zink, halb aus Kupfer besteht, angebracht.

oder isoelektrische Curven genannt. In dem Cylinder, dessen Durchschnitt hier gezeichnet ist, entsprechen ihnen gekrümmte Flächen, welche die vorher erwähnten Strömungsflächen normal durchschneiden, und welche Spannungsflächen oder isoelektrische Flächen heissen. An der Oberfläche des Cylinders treten die isoelektrischen Flächen zu Tage. Sie schneiden die Oberfläche in krummen Linien, welche in unserm einfachen Falle lauter Kreise sind, die auf der Cylinderoberfläche parallel den Endflächen verlaufen. Die isoelektrische Fläche von der Spannung Null schneidet den Cylinder rechts von seiner Mitte und theilt ihn in zwei ungleiche Hälften, von denen die rechte positiv, die linke negativ ist. Die isoelektrischen Curven grösster positiver und grösster negativer Spannung treffen die Oberfläche in den Mittelpunkten der Endflächen des Cylinders, welche in unserer Figur mit  $+b$  und  $-b$  bezeichnet sind.

So einfach wie in diesem Falle sind die Verhältnisse nicht immer. Wenn der betreffende Körper kein regelmässiger Cylinder ist, und wenn die elektromotorische Kraft nicht genau in der Achse ihren Sitz hat, ist die Anordnung der Strömungs- wie der isoelektrischen Flächen eine verwickeltere. Dementsprechend verlaufen dann auch die Curven gleicher Spannung auf der Oberfläche in anderer Weise. Immer aber muss, wenn im Innern des Körpers eine elektromotorische Kraft vorhanden ist, dieser eine bestimmte Anordnung der Spannungen an der Oberfläche des Körpers entsprechen. Diese Anordnung der Spannungen an der Oberfläche können wir durch systematische Untersuchungen mit dem ableitenden Bogen feststellen und aus ihr können wir Schlüsse auf den Sitz der elektromotorischen Kraft im Innern ziehen.

6. Um die absoluten Werthe der Spannungen an jedem Punkte der Oberfläche zu messen, müssten wir nach und nach jeden dieser Punkte mit einem der früher beschriebenen Elektrometer verbinden. Wir müssten aber auch

den zu untersuchenden Körper sorgfältig isoliren. Thun wir das nicht; sondern steht ein Theil der Körperoberfläche mit der Erde in leitender Verbindung, so würde dieser Theil immer die Spannung Null annehmen. Stellen wir uns vor, ein Punkt der Oberfläche sei zur Erde abgeleitet und wir messen die Spannung aller andern Punkte. Verlegen wir jetzt die Verbindung mit der Erde an irgendeinen andern Punkt, z. B. an einen solchen, der bei der ersten Untersuchung die Spannung  $+ a$  zeigte. Jetzt wird dieser Punkt die Spannung Null haben. Die weitere Untersuchung wird uns dann zeigen, dass auch alle andern Punkte ihre Spannungswerthe um den Betrag  $a$  geändert haben. Ein Punkt, welcher früher die Spannung Null hatte, hat jetzt die Spannung  $- a$ ; ein anderer, der früher die Spannung  $b$  hatte, hat jetzt die Spannung  $b - a$  u. s. f.

Hieraus geht hervor, dass es für die Untersuchung der Spannungsvertheilungen an der Oberfläche und für die aus ihr zu ziehenden Folgerungen über die den Körpern zukommenden elektromotorischen Kräfte gar nicht auf die absoluten Werthe der Spannungen an den einzelnen Punkten, sondern nur auf die Differenzen dieser Spannungen ankommt. Sie allein werden durch die Lage, Richtung und Stärke der elektromotorischen Kraft bestimmt. Und ihre Kenntniss allein genügt, um Schlüsse auf die Lage und Richtung der Strom- und isoelektrischen Curven zu ziehen. Punkte, welche gleiche Spannung haben, deren Differenz also  $= 0$  ist, gehören entweder einer und derselben isoelektrischen Curve an oder zweien solchen von gleichem Spannungswerth. Punkte, welche ungleiche Spannung haben, gehören verschiedenen isoelektrischen Curven an. Ihre Spannungsdifferenz muss gemessen werden, wenn man weitere Schlüsse ziehen will.\*

---

\* Bei der Darstellung der Untersuchungsergebnisse wird es bequemer sein, bestimmte Angaben über die Spannungen der einzelnen Punkte zu machen. Man thut dies, indem man still-

Die Messung dieser Spannungsdifferenzen zwischen verschiedenen Punkten kann in exacter Weise mit dem Capillarelektrometer geschehen. Verbindet man zwei Punkte, welche verschiedene Spannungen haben, mit den Drähten  $p^1$  und  $p^2$  (Fig. 45) und zwar so, dass der negative Punkt mit dem Quecksilber in der Capillarröhre verbunden ist, so wird zwar anfangs ein Strom durch die Schwefelsäure gehen, aber dieser wird die Oberfläche des Quecksilbers in der Capillarröhre durch Ausscheidung von Wasserstoff schnell so weit polarisiren, bis die durch die Polarisation entstehende, der ursprünglichen entgegengesetzt gerichtete Spannungsdifferenz der erstern gleich ist. Dann hört jeder Strom auf. Aus der im Capillarrohr entstandenen Verschiebung oder, genauer gesagt, aus dem zu ihrer Ausgleichung erforderlichen Druck kann, wie wir gesehen haben, die Spannungsdifferenz der beiden abgeleiteten Punkte unmittelbar berechnet werden.

7. Die Messung der Spannungsdifferenzen erfolgt also bei diesem Instrument durch Herstellung einer Gegenwirkung von gleicher Grösse. Das Gleiche lässt sich auch bei Anwendung des Multiplicators erreichen, nur mit dem Unterschiede, dass die Gegenwirkung nicht wie beim Capillarelektrometer durch die Einrichtung des Apparats von selbst eintritt, sondern von dem Experimentator absichtlich hinzugefügt wird. Will man die Schwere irgendeines Körpers bestimmen, so legt man ihn auf eine Wagschale und legt auf die andere so lange Gewichte, bis die Wage wieder im Gleichgewicht ist. Da in diesem Falle die beiden Gewichte in ihren Wirkungen auf den Wagbalken sich gegenseitig aufheben, so müssen sie ein-

---

schweigend voraussetzt, irgend eine isoelektrische Curve sei zur Erde abgeleitet, habe also die Spannung Null. Bei der Darstellung der Versuchsergebnisse an Muskeln und Nerven in den folgenden Kapiteln wird dies immer die Grenze zwischen Längsschnitt und Querschnitt sein.

ander gleich sein. Dieses allgemein bekannte Princip ist einer bedeutenden Verallgemeinerung fähig. Wir wollen z. B. die Anziehung bestimmen, welche ein Magnet auf ein Stück Eisen ausübt. Wir hängen das Eisen an das eine Ende des Wagbalkens und an das andere Gewichte, bis der Wagbalken wieder im Gleichgewicht ist. Nun legen wir den Magneten unter das Eisen; durch die magnetische Anziehung wird das Gleichgewicht gestört; wir müssen am andern Ende des Wagbalkens Gewichte hinzufügen, um es wiederherzustellen. Die Grösse der

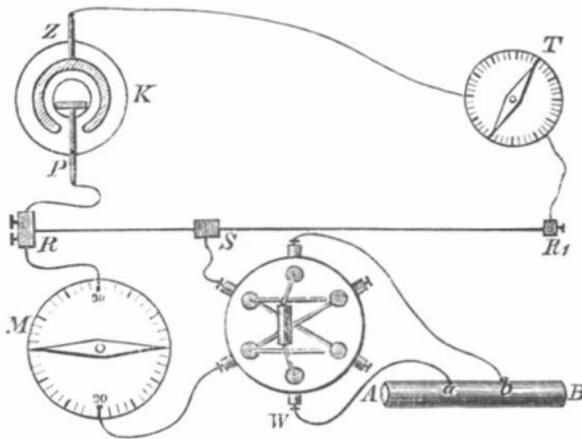


Fig. 53. Messung von Spannungsdifferenzen durch Compensation.

dazu erforderlichen Gewichte ist dann ein Maass für die Anziehung zwischen Magnet und Eisen bei der im Versuch eingehaltenen Entfernung beider voneinander.

In unserm Falle beobachten wir bei Anlegung des ableitenden Bogens eine Ablenkung am Multiplicator als Folge des Unterschiedes der Spannungen an den Fusspunkten des ableitenden Bogens. Diesen Unterschied wünschen wir zu messen. Können wir durch irgendeine Wirkung die Ablenkung des Multiplicators in entgegengesetztem Sinne beeinflussen und zwar so stark, dass der Multiplicator eben gerade keine Ablenkung mehr

zeigt, so müssen die beiden Wirkungen einander gleich sein, und die eine kann als Maass der andern dienen.

Ein solches Verfahren bezeichnet man als Messung durch Compensation. Im vorliegenden Falle hebt man die Wirkung der einen Spannungsdifferenz durch die einer andern Spannungsdifferenz auf, welche man beliebig verändern kann. Dazu gibt das früher schon beschriebene Rheochord ein bequemes Mittel ab.

Sei  $RR_1$  (Fig. 53) ein geradlinig ausgespannter Draht (die Rheochordsaite), durch welchen von der Kette  $K$  ein Strom geleitet wird. Der Strom durchfiesse den Draht in der Richtung von  $R$  nach  $R_1$ .  $T$  ist ein Multipliator, durch dessen Ablenkungen wir uns überzeugen können, dass der Strom dieser Kette in seiner Stärke constant bleibt. Die übrigen in der Figur angegebenen Theile wollen wir vorderhand noch als nicht vorhanden betrachten. Nach dem, was wir früher gesehen haben (§. 2), muss auf der Rheochordsaite ein bestimmtes elektrisches Gefälle bestehen. Die Spannung ist in  $R$  am grössten und nimmt von da nach  $R_1$  hin allmählich ab. Die Abnahme muss, da die Saite ganz gleichartig ist, ganz regelmässig erfolgen, das heisst, die Differenz zwischen der Spannung irgendeines Punktes der Saite und der Spannung bei  $R$  muss proportional sein der Entfernung dieses Punktes von  $R$ . Nun denken wir uns irgendeinen Körper  $AB$ , welcher eine elektromotorische Kraft enthält. Zwei Punkte der Oberfläche,  $a$  und  $b$ , haben infolge dessen verschiedene Spannungen, deren Differenz gemessen werden soll. Wir verbinden  $a$  durch einen Draht unter Einschaltung eines möglichst empfindlichen Multipliators mit  $R$ ,  $b$  verbinden wir durch einen Draht mit einem Schieber  $S$ , welcher auf der Rheochordsaite gleitet. Auf den Multipliator  $M$  wirken jetzt zwei Spannungsdifferenzen. Erstens die Spannungsdifferenz zwischen den Rheochordpunkten  $R$  und  $S$ , zweitens die Spannungsdifferenz zwischen den Punkten  $a$  und  $b$ . Hat  $a$  eine grössere positive Spannung als  $b$ , so wirken beide Spannungsdifferenzen

in entgegengesetztem Sinne.\* Da wir durch Verschiebung von  $S$  die Spannungsdifferenz zwischen  $R$  und  $S$  verändern können, so lässt sich eine Stellung des Schiebers finden, wo die beiden Wirkungen sich gerade compensiren, bei der deshalb der Multiplicator gar keine Ablenkung zeigt. Es ist dann offenbar

$$R - S \quad \text{---} \quad a - b \quad = 0$$

Spannungsdifferenz der beiden Rheochordpunkte.      Spannungsdifferenz der beiden Leiterpunkte.

oder  $R - S = a - b$

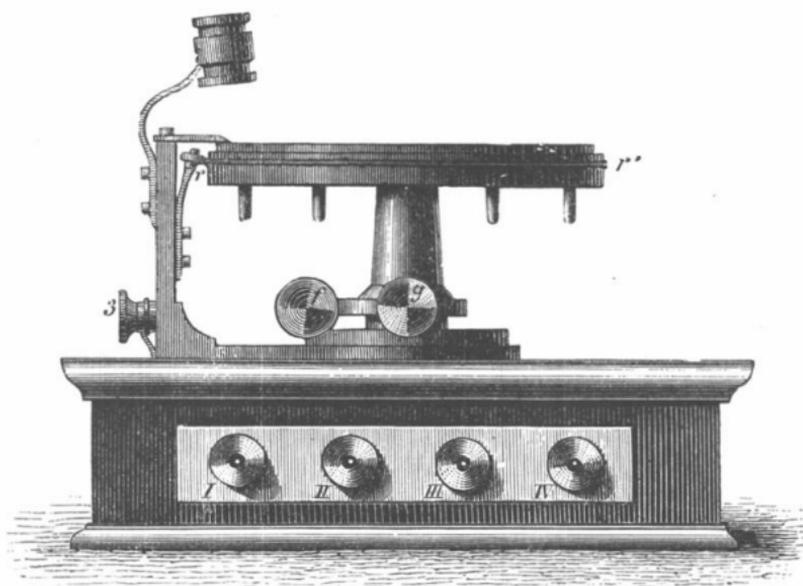


Fig. 54. Runder Compensator von Du Bois-Reymond.

das heisst: die Differenz der Spannungen zwischen  $a$  und  $b$  ist gleich der Differenz der Spannungen zwischen  $R$  und  $S$ . Letztere erscheint zunächst als ein Längenmaass, in Millimetern ausgedrückt; aber jeder Millimeter

\* Hätte  $b$  eine grössere positive Spannung als  $a$ , so müsste man  $a$  mit  $S$  und  $b$  mit  $R$  verbinden. Die Wippe  $W$  gestattet, die Art der Verbindung zwischen  $a$  und  $b$  einerseits und  $R$  und  $S$  andererseits schnell zu vertauschen.

bedeutet bei einem bestimmten Rheochorddraht und einer bestimmten Stärke des durch ihn geleiteten Stromes einen bestimmten Bruchtheil einer bekannten elektrischen Span-

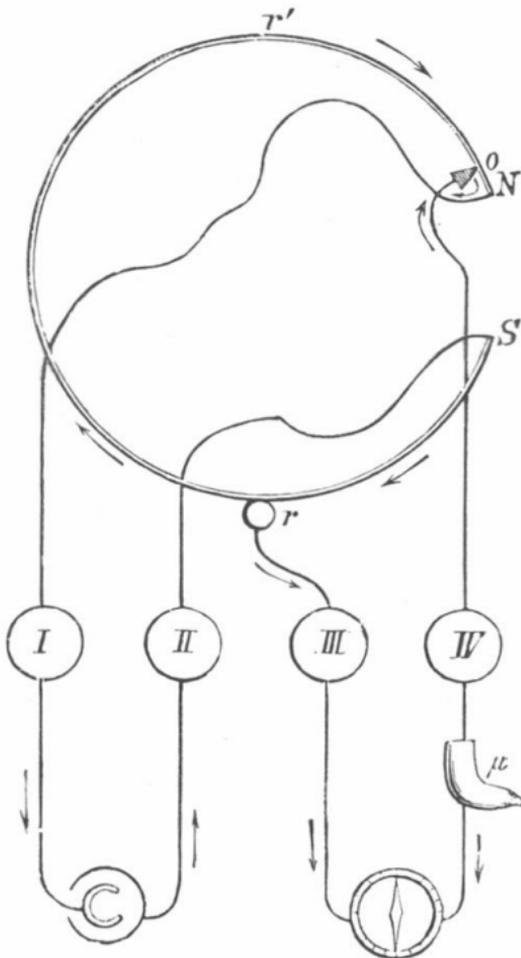


Fig. 55. Schema einer elektrischen Maassbestimmung mit dem runden Compensator.

nungsdifferenz oder, wie wir auch sagen können, einer bestimmten elektromotorischen Kraft.

8. Zur bequemen Ausführung solcher Messungen hat Du Bois-Reymond einen „runden Compensator“ (Fig. 54) angegeben, bei welchem der Rheochorddraht  $rr'$  auf dem

Umfang einer kreisrunden Scheibe von Hartkautschuk angebracht ist. Anfang und Ende des Drahtes stehen mit den Klemmen *I* und *II* in Verbindung; vom Anfang geht ausserdem ein Draht zur Klemme *IV*. Die Klemme *III* ist mit dem Röllchen *r* in Verbindung, das durch Federkraft gegen den Draht angepresst wird und die Stelle des Schiebers vertritt. Indem man die Scheibe dreht, wird die Länge des eingeschalteten Rheochord-antheils verändert.

Die ganze Anordnung wird durch Fig. 55 noch deutlicher werden, welche zugleich als ein Schema der Versuche an einem Muskel dienen kann.  $Nr' rS$  ist der kreisrunde Rheochorddraht, durch den der Strom der „Messkette“ in der Richtung der Pfeile fliesst.  $\mu$  ist ein Muskel, dessen zwei mit dem Multiplicator verbundene Oberflächenpunkte einen Strom geben, welcher durch den vom Rheochord in den Punkten *r* und *o* abgezweigten Stromantheil gerade compensirt wird. Die Länge *or* des Rheochorddrahtes, bei welcher dies geschieht, gibt die Differenz der Spannungen der abgeleiteten Muskelpunkte in dem festgesetzten Maass („Compensatorgrade“) an. Diese Länge wird gefunden, indem man die runde Scheibe und damit den Platindraht dreht, bis der Multiplicator keine Ablenkung mehr zeigt. Mit Hülfe der Lupe kann man die eingeschaltete Drahtlänge vom Anfangspunkt *o* bis zur Rolle *r* auf einer Kreistheilung ablesen.

---

## ELFTES KAPITEL.

1. Das regelmässige Muskelprisma; 2. Ströme und Spannungen am Muskelprisma; 3. Muskelrhombus; 4. Unregelmässige Muskelrhomben; 5. Strom des Gastroknemius.

1. Wir beginnen die Untersuchung der elektrischen Erscheinungen an thierischen Geweben mit den Muskeln