Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern

Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Bern

Band: - (1888)

Heft: 1195-1214

Artikel: Untersuchungen über die physiologische Wirkung der Condensatorenentladungen

Autor: Dubois

Kapitel: "Die vorliegenden Untersuchungen wurden nicht in der Absicht unternommen..."

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-319015

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Dr. med. Dubois.

Untersuchungen
über die
physiologische Wirkung
der
Condensatorenentladungen.

(Vorgetragen in der Sitzung vom 19. November 1887.)

Die vorliegenden Untersuchungen wurden nicht in der Absicht unternommen, vom rein practischen Standpunkte aus die Condensatoren zu studiren und die etwaige Verwerthbarkeit dieser Instrumente für die Electrotherapie nachzuweisen. Sie verdanken vielmehr ihre Entstehung rein theoretischen Erwägungen über die Factoren, welche den electrischen Strömen und Entladungen ihre physiologische Wirksamkeit verleihen. Man wird die Resultate dieser Versuche am besten beurtheilen können, wenn ich meinen Gedankengang vorlege, wenn ich sage, was mich veranlasst hat, diese Experimente anzustellen. Es gibt nämlich in der Electricitätslehre verschiedene Fragen, und zwar nicht Détailfragen, sondern Grundfragen, über welche die Lehrbücher nicht genügenden Aufschluss geben. So scheinen mir namentlich die Angaben über die Ursache der verschiedenen Wirkung der galvanischen und der Inductionsströme sehr dürftig. Man stösst dabei auf gewisse Widersprüche, auf Unklarheiten, und ich hoffte, mir durch diese Versuche Klarheit über diese Punkte zu verschaffen. Treten wir auf den Gegenstand näher ein. —

Jeder, mit der Electrisation des menschlichen Körpers vertraute Arzt weiss, dass wir mit einer relativ geringen Anzahl galvanischer Elemente im Stande sind, eine Muskelzuckung auszulösen. Wenn wir,

beispielsweise, die Anode einer galvanischen Batterie auf den Nacken der Versuchsperson fixiren, die Kathode, in Form einer knopfförmigen Electrode auf den Nervus medianus, am Handgelenk, aufsetzen und nun den Strom im metallischen Theil der Kette schliessen, so können wir allenfalls schon eine Zuckung der Daumenmuskeln erzielen mit fünf Leclanché'schen Elementen, also mit einer electromotorischen Kraft von circa 7 Volts. — Dabei zeigt das Edelmann'sche Galvanometer z. B. eine Stromstärke von 0,5 Milliampère an. Wir können darnach den Widerstand nach der Ohm'schen Formel $I = \frac{E}{R}$ und $R = \frac{E}{I}$ ungefähr berechnen. Er beträgt in diesem Falle $\frac{7 \text{ Volts}}{0{,}0005} = \text{circa } 14000$ Ohms. Nehmen wir nun 10 Elemente statt 5, also 14 Volts statt 7. Dadurch wird die Stromstärke keineswegs verdoppelt. Der galvanische Strom hat bekanntlich die Eigenschaft, vermöge seiner electrolytischen, cataphorischen und gefässerweiternden Wirkung, den Leitungswiderstand der Haut herabzusetzen.*)

Mit 10 Elementen kann die Stromstärke schon eine 4fache sein, d. h. 2,0 Milliampères, entsprechend einem Widerstand von $\frac{14 \text{ Volts}}{0{,}002} = 7000$ Ohms betragen. Die erzielte Muskelzuckung ist

---

*) Die Arbeiten von Gärtner, Jolly, Stintzing und Graeber und Anderer haben diese Wirkung galvanischer Ströme nachgewiesen. Ich habe selbst längere Zeit die Leitungswiderstände der Haut bestimmt und genaue Versuche darüber angestellt. Da inzwischen die erwähnten Arbeiten erschienen sind und den Gegenstand nahezu erschöpften, verzichtete ich auf eine weitere Publication meiner Versuche und begnügte mich, meine Resultate in einer Mittheilung an der schweizerischen Naturforschenden Versammlung in Genf kurz zu resümiren und zwar an Hand eines einzigen practischen Versuches, der die Thatsache genügend illustrirt. Da die Resultate für unsere heutige Frage von Wichtigkeit sind, gebe ich hier die betreffende Tabelle. Der Versuch wurde in folgender Weise gemacht: Die Anode lag auf dem Nacken, die Kathode auf der Vorderfläche des Vorderarms und nun liess ich successive 1—20 Leclanchés einwirken und zwar für jede Elementenzahl während 1 Minute. Auf 20 Elemente angelangt, ging ich nun wieder zurück, die Elementenzahl von 20 auf 1 reducirend. Die dritte Colonne entspricht diesem Versuch mit abnehmender Elementenzahl. Der herabgesetzte Widerstand wächst wieder mit abnehmender Voltspannung, bleibt aber hochgradig vermindert. Die Tabelle gibt die Elementenzahl, die Voltspannung, die galvanometrisch bestimmte Stromstärke am Anfang und am Ende jeder Minute. Die entsprechenden Widerstände sind berechnet nach $R = \frac{E}{I}$. Wir sehen in diesem Versuch den Widerstand sinken von 30000 auf 690 Ohms.

schon dabei eine ziemlich starke. Mit 15 Elem. resp. 21 Volts ist die Stromstärke nicht 3 fach, sondern vielleicht 12 fach. Die Stromstärke kann schon 6 Milliampères betragen und eine heftige, während der Stromdauer tetanisch andauernde Zuckung auslösen. Mit 20 Elementen ist die Zuckung höchst schmerzhaft und kaum erträglich. — Auch in den Fällen wo, wegen Dicke der Epidermis und kleinen Querschnitts der Electrode der Leitungswiderstand ein grösserer ist, kann man mit einer Batterie von 40 bis 50 Leclanchés, d. h. Spannungen von 56—70 Volts, die unangenehmsten, unerträglichsten Zuckungen bewirken. Es versteht sich von selbst, dass solche starke Ströme, die an den Extremitäten kaum ertragen werden, auf das Gehirn eine viel grössere Wirkung entfalten würden. Heftiger Schwindel, Erbrechen, ja Ohnmacht könnten die Folge einer solchen Application am Kopfe sein.

Diese Wirkung des galvanischen Stromes ist also eine ganz intensive. Sie findet um so energischer und um so rascher statt, je grösser die Voltspannung, resp. die Intensität ist. — Die Electrotherapeuten kennen diese Wirkung galvanischer Ströme zur Genüge, der Physiker aber weniger, wesshalb wir hier diese Tabelle als Beispiel wiedergeben.

Elem.-Volts.		Stromstärke in Milliampères.				Widerstand in Ohms.			
1	1,5	0	—	0	0,45	?	—	?	3333
2	3	0,10	—	0,10	1,65	30000	—	30000	1818
3	4,5	0,20	—	0,25	3	22500	—	18000	1500
4	6	0,35	—	0,40	5	17140	—	15000	1200
5	7,5	0,50	—	0,60	7	15000	—	12500	1071
6	9	0,72	—	0,85	9	12500	—	10590	1000
7	10,5	1,05	—	1,25	11	10000	—	8400	954
8	12	1,55	—	2,00	13	7640	—	7000	923
9	13,5	2,40	—	3,0	15	5625	—	4500	899
10	15	3,6	—	4,5	18	4166	—	3330	833
11	16,5	5,4	—	6,5	20,5	3055	—	2530	804
12	18	7,5	—	9,0	23	2400	—	2000	782
13	19,5	10,0	—	12,5	26	1950	—	1550	750
14	21	14,0	—	16,35	28	1500	—	1270	750
15	22,5	18,0	—	20,25	31	1250	—	1100	725
16	24	22,0	—	25,0	33,5	1090	—	960	716
17	25,5	27,0	—	30,0	36	940	—	850	708
18	27	32,0	—	34,5	39	840	—	780	697
19	28,5	37,0	—	39,0	42	770	—	730	678
20	30	41,0	—	43,5		730	—	690	

Erfahrungen über die Wirkung grösserer Batterien besitzen wir nicht, da solche meist nicht in Gebrauch sind. Dagegen kennen wir seit der Einführung der Dynamomaschinen in der Technik die verderbliche Wirkung hochgespannter Ströme. Diese Maschinen liefern allerdings Inductionsströme; dieselben sind aber bei der jetzt üblichen Construction gleichgerichtet und üben die gleiche Wirkung aus wie die galvanischen Ströme. Sie lenken die Galvanometernadel in gleicher Weise ab, sie verrichten die gleiche chemische Arbeit, so dass sie in der galvanoplastischen Technik an Stelle der Elemente gebraucht werden. Auch physiologisch wirken sie in gleicher Weise: bei Schluss des Stromes entsteht eine Muskelzuckung, die natürlich mit der Intensität des Stromes immer stärker wird. Erreicht die Voltspannung einer Dynamomaschine den Werth von mehreren Hundert Volts, so ist ein solcher Strom nicht mehr als unangenehm zu bezeichnen; er ist direct lebensgefährlich. Es ist schon öfters vorgekommen, dass Menschen durch den Strom einer Dynamomaschine von 500, 800, 1000 Voltsspannung, wie durch den Blitzstrahl getödtet wurden. Noch sicherer wird diese Wirkung eintreten bei den höheren Spannungen von 5—6000 Volts, wie sie von Marcel Deprez bei seinen Versuchen über Kraftübertragung angewendet wurden.

In all diesen Thatsachen liegt wohl nichts Befremdendes. Wenn 7 Volts schon genügen, um eine Muskelzuckung auszulösen, so ist es wohl begreiflich, dass 1000 Volts den Tod herbeiführen können. Wir begreifen dies noch besser, wenn wir die erwähnte Thatsache berücksichtigen, dass der Leitungswiderstand der Haut unter dem Einflusse des Stromes selbst erheblich abnimmt, so dass bei steigender Voltspannung die Stromstärke viel rascher zunimmt als der Vermehrung der Elementenzahl entsprechen würde. Die Verhältnisse sind also bei Besprechung solcher Ströme sehr klar.

Wenn wir uns nun über die Voltspannung anderer Electricitätsquellen, anderer Electromotoren erkundigen, so erfahren wir, dass die Spannung eines kleinen medicinischen Inductionsapparates mehrere Hundert, ja über Tausend Volts betragen kann. Enorm viel grösser ist die Spannung einer Influenzmaschine oder eines Rumkorf'schen Inductoriums. 100 — 300 Tausend Volts Spannung sind die Zahlenangaben, die wir in den Lehrbüchern darüber finden. Die Funkenlänge eines Inductoriums oder einer Electrisirmaschine gibt einen ungefähren Maasstab für ihre Voltspannung. Von technisch competenter Seite wurden mir darüber folgende Angaben gemacht:

Einer	Funkenlänge	von	0,18	mm	entspricht	eine	Spannung	von	1000	Volts
„	„	„	0,7	„	„	„	„	„	2000	„
„	„	„	5,0	„	„	„	„	„	5000	„
„	„	„	12,2	„	„	„	„	„	9000	„
„	„	„	15,6	„	„	„	„	„	12000	„
„	„	„	16,5	„	„	„	„	„	13000	„
„	„	„	17,1	„	„	„	„	„	14000	„
„	„	„	18,8	„	„	„	„	„	15000	„

Und doch ist, so viel ich weiss, durch eine solche Entladung noch kein Mensch getödtet worden. Wohl sind zuweilen Experimentatoren zu Boden geworfen worden, haben sogar während einigen Minuten Lähmungserscheinungen empfunden, doch kamen Alle davon. Ich versuchte mit einer Condensatorentladung von 5000 Volts ein Hühnchen zu tödten. Obgleich ich die Electroden zu beiden Seiten des Kopfes ansetzte, war die Gefahr für das Thier keine grosse. Es wurde nicht einmal betäubt; höchstens konnte man von unangenehmer Ueberraschung reden. Der Blitzstrahl sogar, dessen Spannung mehrere Millionen Volts betragen muss, tödtet nicht immer die Betroffenen; ich habe zwei Mal Gelegenheit gehabt, Patienten zu untersuchen, die vom Blitze getroffen wurden und nichts davon trugen als Hautverbrennungen und localisirte Lähmungen.

Woran liegt es nun, dass eine Dynamomaschine von 800 Volts den Tod eines Menschen bewirken kann, während eine Entladung von vielen Tausend Volts Spannung gefahrlos bleibt? Darüber finden wir in den Lehrbüchern wohl Andeutungen, ja sogar positive Angaben, jedoch keine auf exacte Versuche und Zahlen gestützte Antwort.

Wir lesen z. B., dass Inductionsströme oder Condensatorentladungen eine *geringe Quantität* haben. Dieses Wort wird aber so oft gebraucht, wo es keinen Sinn hat, dass ich berechtigt bin, die Antwort als ungenügend zu betrachten.

Der Physiker von Fach wird sich zwar mit dieser Erklärung zufrieden geben; der Begriff der *Quantität* ist ihm ein geläufiger. Fragen Sie aber physikalisch gebildete Aerzte, sogar Techniker, so werden Sie sehen, dass dieser Begriff kein klarer ist, oder, besser gesagt, dass dieser, an sich sonnenklare Begriff nicht viel gebraucht wird, dass wir nicht gewohnt sind, ihn in Einheiten auszudrücken, dass es mit einem Worte kein geläufiger Begriff ist, wie etwa der der Voltspannung oder der Intensität in Ampères.

Es ist wahr, Inductionsströme, Entladungen von Electrisirmaschinen und Condensatoren haben eine geringe Quantität, und dies erklärt

ihre im Verhältniss zur *Voltspannung geringe* Wirkung, aber so lange wir über den Werth dieser Quantität keine Zahlenangaben haben, so kann uns die Erklärung nicht ganz befriedigen.

Schon klarer ist der häufig ausgesprochene Satz, dass Inductionsströme und Entladungen *kurzdauernde Ströme* sind. In dieser Form ist die Erklärung verständlicher; sie befriedigt nicht nur den Fachmann, sondern ist auch für den Laien leicht fassbar. Es stimmt diese Auffassung mit anderen Erfahrungen im Gebiete der Physiologie und Physik. — Gestatten Sie mir einige Beispiele:

Eine ruhende Flintenkugel ist gross genug, um bei genügender Beleuchtung gesehen zu werden, d. h. die Intensität des von ihr zum Auge kommenden Lichtstrahles ist genügend, um auf die Retina einzuwirken. Wird nun die Flinte abgefeuert, so sehen Sie das Geschoss in seinem Fluge durch die Luft nicht. Die Lichtstrahlen, die von ihm zum Auge gehen, haben noch immer die gleiche Intensität. Die Dauer der Einwirkung ist aber zu kurz. Die Retina antwortet auf zu kurz dauernde Reize nicht, so stark sie auch sein mögen.

Auch im Gebiete der Electricität finden wir analoge Erscheinungen. Gibt man nur einen kurzen, aber kräftigen Schlag auf den Knopf einer electrischen Läutvorrichtung, so antwortet die Glocke nicht. Der Contact wurde dadurch geschlossen, der Strom konnte auch während dieser kurzen Zeit seine volle Intensität erreichen, aber der Vorgang war zu kurzdauernd, um die Anker genügend anzuziehen.

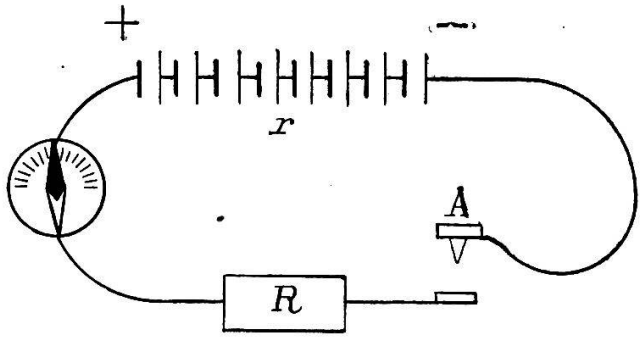
Ebenso antwortet ein mässig empfindliches Galvanometer auf ganz kurze Berührung der Leitungsdrähte nicht.

Den ganz gleichen Gedankengang entwickelt Mousson in seinem Lehrbuche der Physik bei der Besprechung der auseinandertreibenden Kraft der Electricität. «Im electrischen Mörser, einer kleinen Elfenbeinkugel, die genau in eine Höhlung aus gleichem Stoffe passt und unter welcher die Entladungsstelle liegt, wirkt der Schlag zur Fortbewegung der Kugel. Freilich steht die kleine Wurfhöhe von wenigen Decimetern in keinem Verhältniss zu der Stärke der Entladung; doch erklärt sie sich aus der ungemein kurzen Dauer des Schlages. Die Kraft, welche in $\frac{1}{1152000}$ einer Secunde (Dauer eines Funkens nach Wheatstone) die Geschwindigkeit zu 1 Decim. Wurfhöhe mittheilt, nämlich 14 Decim., vermöchte, eine Secunde gleich fortwirkend, eine Beschleunigung von 14 . 1,152,000 Decim. oder 161,200 M. hervorzubringen, eine ungeheure Zahl».

Sie sehen, dass dieser Begriff der *Dauer* ein sehr klarer ist, klarer als der der Quantität. Es ist im Grunde dasselbe in anderen Worten, aber in einer für jeden Kopf fassbaren Form. Noch viel befriedigender wäre diese Erklärung, wenn wir die Dauer des Stromes in Bruchtheilen einer Secunde ausdrücken könnten, wenn wir sagen könnten: Jener galvanische Strom von relativ niederer Spannung hat eine grosse Wirkung entfaltet, weil er $^1/_{100}$ einer Secunde andauerte; dieser Inductionsstrom von enorm viel grösserer Spannung hat im Vergleich weniger gewirkt, weil seine Dauer nur einige Milliontel einer Secunde betrug.

Zu einer solchen Bestimmung wollte ich nun kommen und sagte mir: Wenn Ströme von vielen Hundert, ja vielen Tausend Volts, durch die kurze Dauer ihrer Entladung, in ihrer Wirkung wesentlich beeinträchtigt werden, so wird es ein Leichtes sein, galvanische Ströme von relativ niederer Spannung durch *kurze Dauer des Schliessungszeit* abzuschwächen, ja vielleicht unwirksam zu machen. Um die theoretische Richtigkeit dieses Planes zu begründen, muss ich einiges über die galvanischen Ströme vorausschicken. Betrachten wir eine Batterie von X Elementen (Fig. 1), in der Ruhe, d. h. die offene Kette. So lange der Schliessungskreis der Batterie nicht geschlossen wird, ist an der Batterie nichts nachweisbar. Und doch lehrt die Prüfung mit dem Quadrantelectrometer oder mit einem Condensator nebst Galvanometer, dass, an den Endpolen der Batterie eine electrische *Spannung* herrscht. An diesen Polen ist eine Kraft aufgespeichert, welche die Tendenz hat, sich zu entspannen, so bald die sie bändigenden Widerstände gehoben sind. Je nachdem man diesen oder jenen Gedanken hervorheben will, spricht man von *Spannung,* von *Potential,* von *electromotorischer Kraft.*

Fig. 1



Es ist hier nicht am Platze, auf die Präcisirung dieser Begriffe einzugehen. In diesem speziellen Falle sind diese Ausdrücke gleichwerthig. Ich werde im Fernern meist das Wort Spannung gebrauchen.

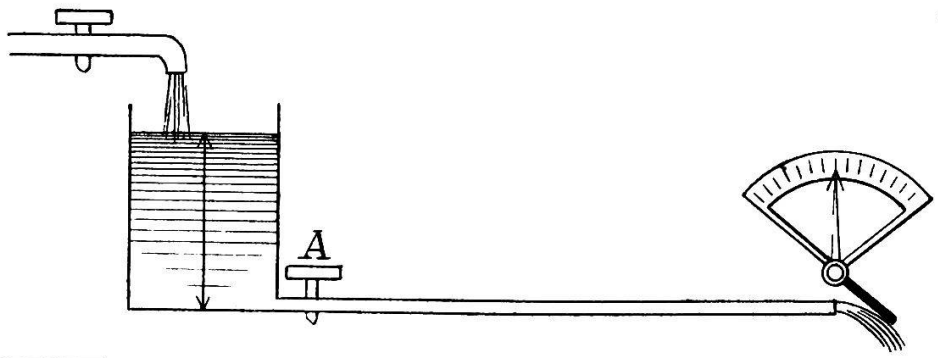
Schliessen wir nun den Kreis durch Druck auf den Contact A, so fliesst nun die angesammelte Electricitätsmenge längs des Conductors, mit einer *Geschwindigkeit* die, einerseits von der Spannung E, ander-

seits vom Widerstand der Schliessung abhängig ist. Diese Geschwindigkeit des Stromes ist, was wir als die *Intensität,* die *Stromstärke,* bezeichnen.*) Die Ohm'sche Formel lehrt uns, dass die Stromstärke der Spannung direct, dem Gesammtwiderstand des Stromkreises umgekehrt proportional ist. $I = \frac{E}{R + r}$, wobei R den ausserwesentlichen, r den Batteriewiderstand bezeichnet. Im speziellen Falle der Electrotherapie, wo der Strom auf den mehrere Tausend Ohms messenden Körperwiderstand geschlossen wird, kommt der innere Widerstand, weil verschwindend klein, meist nicht in Betracht. Die Stromstärke hängt nur von der Spannung und vom ausserwesentlichen Widerstande ab, $I = \frac{E}{R}$.

Wenn wir, wie üblich, die electrischen Erscheinungen mit den hydraulischen vergleichen, so ist die Analogie eine auffallende. Ein galvanisches Element, eine galvanische Batterie ist vergleichbar mit einer Quelle im eigentlichen Sinne des Wortes, mit einer unversiegbaren Quelle, die einen constanten, gleichmässigen Strom liefert.

Das galvanische Element ist auch vergleichbar mit einem mit Flüssigkeit gefüllten Gefäss, bei welchem durch eine passende Zuflussvorrichtung das *Flüssigkeitsniveau constant* erhalten bleibt.

Fig. 2



*) Wenn ich hier die Intensität als eine Geschwindigkeit bezeichne, so ist dies nicht ganz richtig. Im electrodynamischen Maasssystem hat die Intensität nicht die Dimension einer Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeit ist aber der Intensität proportional, bei Annahme eines constanten Querschnitts der Leitung; wie die Intensität ist auch in diesem Falle die Geschwindigkeit der treibenden Kraft direct, dem Widerstand umgekehrt proportional. Man kann sich über die Intensität übrigens verschiedene Vorstellungen machen. Bei der Intensität 1 Ampère fliesst in der Secunde 1 Coulomb Electricitätsmenge ab. Hat der Strom die Stärke von 2 Ampères, so kann man ebenso gut sagen: bei gleichbleibender Geschwindigkeit floss eine doppelte Menge ab oder eine gleiche Menge floss mit doppelter Geschwindigkeit ab. In beiden Fällen ist die abgelieferte Menge 2 Coulombs. Auf diese Frage kann ich nicht näher eintreten. Der Vergleich der Intensität mit einer Geschwindigkeit muss hier bildlich verstanden werden.

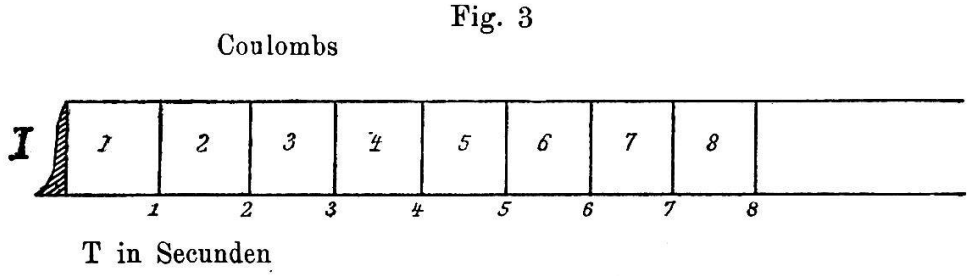
So lange der Hahn A geschlossen ist (offene Kette), bleibt die, durch die Höhe der Wassersäule ausdrückbare Kraft in Ruhe. Wird nun der Hahn geöffnet, so fliesst das Wasser mit einer Geschwindigkeit (Intensität) ab, die von der Druckhöhe und vom Widerstand abhängt. So wie das Galvanometer uns die Intensität des Stromes anzeigt, so können wir uns auch eine Vorrichtung denken, die ebenfalls durch ihre Ablenkung die Stärke des Stromes anzeigt. (Fig. 2.)

Bei Wasserläufen kann die Stärke des Stromes durch die in der Zeiteinheit ausgeflossene Wassermenge ausgedrückt werden. In gleicher Weise können wir aber auch die Intensität des galvanischen Stromes messen. Ein Strom von der Intensität = *1 Ampère*, ist ein Strom, bei welchem in der *Secunde* eine Electricitätsmenge von *1 Coulomb* abfliesst.

Diese Verhältnisse lassen sich auch schematisch darstellen. Wenn ein galvanischer Strom auf einen gewissen Widerstand geschlossen wird, so erreicht er theoretisch nicht sofort seine der $\frac{\text{Voltspannung}}{\text{Widerstand}}$ entsprechende Intensität. Es vergeht eine äusserst kurze Zeit, die Zeit des sog. variablen Zustandes, bis der Strom von 0 auf die maximale Höhe steigt. — Nach dieser sehr kurzen Zeit hat der Strom seine maximale Intensität erreicht und behält sie, so lange der Strom geschlossen bleibt, weil durch die Arbeit im Element die Spannung erhalten bleibt. Es fliesst also ein *constanter* Strom von der $I = \frac{E}{R}$

Die *Quantität* dieses Stromes hängt namentlich ab von der Schliessungszeit. So lange Zink noch vorhanden ist, so lange der Strom geschlossen bleibt, wird in der Secunde 1 Coulomb Electricitätsmenge geliefert, wenn die Intensität 1 Ampère beträgt.

Fig. 3



In der Fig. 3 ist die Intensität des Stromes I als Ordinate, die Dauer T als Abscisse aufgetragen. Die Quantität Q ist das Product aus der Intensität und Zeit, $Q = I\,T$.

Die Quantität eines constanten Stromes ist also nur abhängig von seiner Intensität und von der Schliessungsdauer. Sie lässt sich

immer in Einheiten der Quantität, in Coulombs, ausdrücken. Fliesst der Strom von der Intensität 1 Ampère während einer Secunde, so ist die Quantität 1 Coulomb, fliesst er 10 Secunden, so beträgt sie 10 Coulombs; dauert der Strom nur ein Milliontel einer Secunde, so beträgt die Quantität 1 Milliontel eines Coulombs oder *1 Microcoulomb*. Kurz oder lang dauernd hat der Strom die Intensität 1 Ampère. Im Ausdruck des Ampère $= \frac{\text{Volt}}{\text{Ohm}}$ fehlt der Begriff der Zeit.

Nun dachte ich: Wenn es gelingt, die Schliessungszeit eines galvanischen Stromes auf ein gewisses *Minimum* zu verkürzen, so wird dessen Wirkung abnehmen, und vielleicht gelingt es, ihn dadurch so abzuschwächen, dass keine Wirkung mehr eintritt.

Andererseits lehrt eine oberflächliche Erfahrung, dass es, wenigstens für schwache Ströme, eine *maximale Schliessungszeit* gibt, bei welcher der Strom seine *volle*, Nerv und Muskel erregende Wirkung hat. Wenn man mit einem Strom von 2 Milliampères eine Muskelcontraction auslöst, so ist es vollkommen gleichgiltig, ob der Strom 0,1 Sec. oder 1,0 Sec. dauert. Die Zuckung bleibt die gleiche, sie wird nicht ausgiebiger, nicht effectvoller. Ich setze also voraus: Hat ein Strom die genügende Intensität, um überhaupt eine Zuckung auszulösen, so gibt es eine *minimale Stromdauer*, unter welcher keine Wirkung eintritt, und eine *maximale Stromdauer* (wenigstens für schwache, nicht tetanuserregende Ströme), bei welcher die maximale Wirkung voll erreicht wird.

Dieses Minimum und Maximum der wirksamen Stromdauer zu bestimmen, war das Ziel meiner Arbeit.

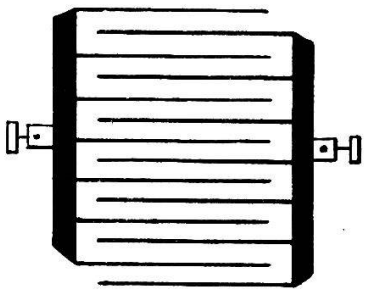
Ich suchte nun die kurzen Schliessungszeiten durch mechanische Vorrichtungen zu erzielen, rotirendes Rad, Pendel etc., bei welchen durch Schleifcontacte der Strom kurz geschlossen wurde. Ich sah aber bald ein, dass es unmöglich sei, eine Vorrichtung zu construiren, die für kleinere Zeiten als $^1/_{1000}$ Secunde einen sichern Contact gegeben hätten. Das Resultat meiner Versuche bestätigte dies auch und ich musste auf diese Versuchsanordnung verzichten.

In der Verlegenheit griff ich nun zu den *Condensatoren*.

Die Quantität eines Stromes ist, haben wir gesagt, das Product aus der Intensität und Stromdauer, $Q = I\,T$. — Bei gleichbleibendem I, T verkürzen, heisst die *Quantität* Q verkleinern. Nun gibt es Instrumente, die gegenwärtig technisch verwerthet werden und welche erlauben, ganz bestimmte, abgewogene Electricitätsmengen zu sammeln

und auf einen Leiter zu entladen. Diese *Condensatoren* bestehen aus abwechselnden Lagen von Stanniol und Parafinpapier (oder auch Micaplatten), welche in grosser Zahl aufeinander geschichtet werden. Sie repräsentiren eine sehr grosse, zusammengefaltete Franklin'sche Tafel. Die Stanniolplatten gerader Zahl sind mit einander verbunden und bilden eine der Belegungen. Die ungeraden sind ebenfalls unter einander in Verbindung und bilden die andere Belegung des Condensators.

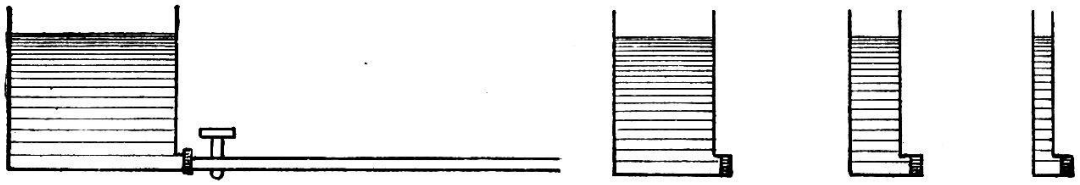
Fig. 4



Mittelst passender Klemmschrauben kann der Condensator mit der Ladungsquelle in Verbindung gebracht werden. (Fig. 4.) Die *Menge Electricität*, die *Quantität*, die ein solcher Ansammlungsapparat aufnehmen kann, hängt einerseits von seiner *Capacität*, d. h. namentlich von seiner Oberfläche, andrerseits von der *Spannung* der ladenden Batterie ab.

Wenn wir den Vergleich mit der Hydrostatik fortsetzen, so sind Condensatoren vergleichbar mit Gefässen verschiedener Capacität, welche abgemessene Flüssigkeitsmengen enthalten können. Wie der *Druck* einer Wassersäule nur von ihrer Höhe, nicht von der Grösse der Gefässe und Menge des Wassers abhängt, so ist die *Spannung* eines Condensators nur von der Spannung der ladenden Stromquelle abhängig. Wird er auf 10 Volts geladen, so bleibt die Spannung 10 Volts, sei der Condensator klein oder gross. Dagegen ist dann die

Fig. 5



Quantität eine verschiedene und diese beeinflusst die *mögliche Dauer* der Entladung. Ist ein Wassergefäss klein, so kann es nur einen kurzdauernden Strom liefern. Enthält es viel Wasser, so kann es, bei gleichbleibender Intensität einen dauernden Strom geben. (Fig. 5.)

Ebenso wird, bei gleicher Spannung, ein Condensator von kleiner Capacität nur eine kurze Entladungszeit haben, während ein sehr grosser längere Zeit Electricität liefern kann.

Nur in einem Punkte ist der Vergleich mit der Hydrostatik nicht vollkommen zutreffend. Ein Gefäss von der Capacität 1 Liter kann unter allen Umständen nur 1 Liter Wasser enthalten, weil das

Wasser incompressibel ist. 1 *Microfarad* (practische Einheit der Capacität) kann aber 1, 2, 3, 100 *Microcoulombs* enthalten, je nachdem er mit 1, 2, 3, 100 Volts geladen wird. Der Vergleich mit den Gasen ist hier am Platze. Ein Gefäss von 1 Liter kann ebenfalls mehr oder weniger Gas enthalten, wenn dasselbe unter Druck gehalten wird.

Bei den Condensatoren ist folglich die *Quantität* das Product aus der Capacität und der Spannung, $Q = CV$. Das ist die Formel der *statischen Quantität*, während $Q = IT$ die Formel der *dynamischen Quantität* darstellt. —

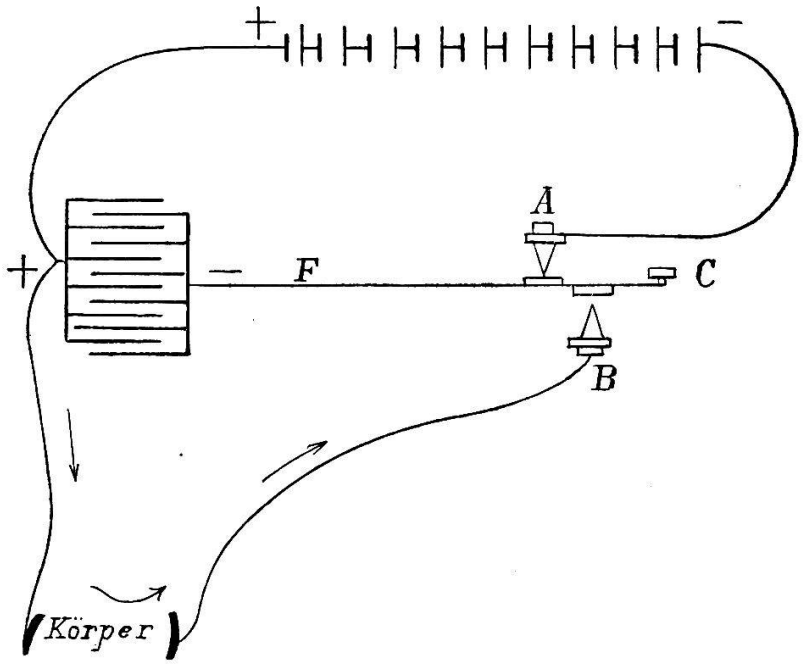
Es war für mich zuerst ein verlockender Gedanke, von der statischen auf die dynamische Quantität überzugehen und die gesuchte Zeit T zu bestimmen nach der Formel $T = \frac{Q}{I}$. Q ist bekannt, resp. lässt sich berechnen durch Multiplication von Capacität in Microfarads mit Spannung in Volts. I kann bestimmt werden, da ich die Spannung und den Widerstand kenne, resp. letzteren messen kann. Der Quotient, aus Quantität in Microcoulombs dividirt durch die Intensität in Ampères, gibt die Zeit T in Milliontel einer Secunde. Die Einfachheit dieser Berechnung kam mir jedoch verdächtig vor. Herr Prof. Dr. Forster, sowie Herr Dr. Rothen waren mir bei dieser Angelegenheit behülflich. Sie machten mich darauf aufmerksam, dass es nicht möglich sei, diese Formel der dynamischen Quantität hier anzuwenden, weil die Curve einer Condensatorentladung eine andere ist wie die eines galvanischen Stromes. Beide Herren waren auch so freundlich, mir werthvolle Instrumente anzuvertrauen und mir mit Rath und That beizustehen. Ich benutze die Gelegenheit, ihnen meinen besten Dank auszusprechen.

Ich liess daher die Frage der Zeitberechnung momentan bei Seite und machte mich an's Experimentiren mittelst der Condensatoren.

Dr. Boudet de Pâris in Paris hat vor Jahren schon die Condensatoren in der Electrotherapie angewendet und eine Unterbrechungsvorrichtung, einen Neef'schen Hammer, construirt, der rasch hintereinander den Condensator ladet und auf den Körper entlädt. Ich zog vor, *isolirte Entladungen* zu benutzen, und wendete dabei folgende Vorrichtung an. (Fig. 6.)

Der positive Pol der Batterie steht in Verbindung mit einer der Belegungen des Condensators und ferner mit dem Körper. Der negative

Fig. 6



Pol führt zum Contact A, welcher bei Ruhelage der Feder F geschlossen ist. Somit ist der Condensator auf die Spannung der Ladungsbatterie gebracht. Durch Druck auf den Knopf C wird der Contact A geöffnet, der Contact B geschlossen. Die Batterie ist ausgeschaltet und der Condensator entlädt sich auf den Körper. Der Körper wird nun von einem kurzdauernden Strom durchflossen.

Die Batterie von 50 Leclanchés erlaubt, die Spannung beliebig von 1,4 Volts bis auf 70 Volts*) zu verändern. Der Condensator, den ich der Güte des Herrn Dr. Rothen, Adjunkt der eidgenössischen Telegraphendirection, verdanke, ist ein Instrument von Elliott in London und ist in Tausendstel eines Microfarads getheilt. Ich kann somit die Quantität genau dosiren zwischen 1,4 Volt × 0,001 Microfarad = 0,0014 Microcoulomb und 70 Volts × 1,000 = 70 Microcoulombs. Vom physikalischen Cabinet der Hochschule bekam ich noch einen Condensator von 1 Microfarad und von Herrn Dr. Borel in Cortaillod (Fabrik von Cabeln und Condensatoren) 3 Condensatoren zu je 2 Microfarads; ich verfügte somit über Quantitäten von 0,0014 Microcoulomb bis 560 Microcoulombs.

Die Versuche wurden nun in folgender Weise angestellt: Die *Anode* als breite Platte von 64^{c^2} oder 100^{c^2} wurde als sog. indifferente Electrode auf Nacken, Sternum oder Bauch fixirt. Die Kathode (meist die normale Kathode von Stintzing mit 3^{c^2} Oberfläche) wurde auf den zu prüfenden Nerv fixirt und der Condensator nun mit wechselnder Spannung, resp. Quantität auf den Nerv entladen. Die, an verschie-

*) Eine genaue Messung der electromotorischen Kraft jedes Elementes vor jedem Versuch vorzunehmen wäre viel zu zeitraubend gewesen. Ich prüfte nur einige Elemente und fand ihre electromotorische Kraft im Mittel = 1,40 Volts.

denen Tagen, auf den gleichen Nerv derselben Versuchsperson erhaltenen Resultate zeigen namhafte Verschiedenheiten, die jedem Electrotherapeuten begreiflich sein werden. Es ist nicht immer möglich, den Nerv gleich zu treffen, die Dichtigkeit des Stromes in demselben gleichmässig herzustellen. Es sind diess Unregelmässigkeiten, die bei jeder diagnostischen und therapeutischen Application der Ströme vorkommen und welche die Resultate jedes einzelnen Versuches in keiner Weise trüben.

Ich gebe hier die detaillirte Schilderung des ersten Versuches, der mit einer Batterie von 50 Leclanchés vorgenommen wurde.

Versuch 1.

Anode 100^{c^2} auf Nacken. Normale *Kathode* 3^{c^2} auf den linken Medianus am Handgelenk. Ungefähre Bestimmung des Leitungswiderstand durch Beobachtung des Nadelausschlages (grosser Edelmann'scher Einheitsgalvanometer) bei der Annahme einer electromotorischen Kraft von 1,4 Volts per Element. 5 Elemente, resp. 7 Volts geben eine Stromstärke von 0,0016 Ampère, folglich ist der berechnete Widerstand $\frac{7 \text{ Volts}}{0{,}0016} = 4375$ Ohms. Galvanisch erreicht man in diesem Versuch die erste Kathodenschliessungszuckung (KSZ) mit 6 Elementen, resp. 8,4 Volts und I = 1,9 Milliampère. Unter solchen Versuchsbedingungen gibt der Condensator von 1 Microfarad, geladen mit 56 Volts, eine sehr starke Zuckung. Ich suche nun durch Verminderung der Capacität die Wirkung allmählig abzuschwächen, bis die *minimale Zuckung* eintritt.

Es zeigt sich nun, dass die Entladung von 56 Volts die minimale Zuckung bei einer Capacität von 0,007 Microfarad gibt. Die Bestimmung ist eine sehr genaue, da jede weitere Verminderung der Capacität die Zuckung zum Verschwinden bringt. Bei 56 Volts und 0,006 Microfarad ist absolut keine Zuckung sichtbar, auch keine fühlbar. Diese Entladung bleibt vollkommen erfolglos. Sofort tritt aber eine deutliche, regelmässige Zuckung ein, sobald die Capacität 0,007 Microfarad beträgt.

Ich vermindere nun die Elementenzahl um 5 Elemente, resp. die electromotorische Kraft um 7 Volts und bestimme wieder die zur Auslösung der *minimalen Zuckung* erforderliche Capacität. Sie beträgt nun für 49 Volts 0,009 Microfarad.