

Ueber die Grundbegriffe der Elektrostatik (Menge, Potential, Capacität u. s. w.)

Von E. MACH.

(Vortrag, gehalten auf der internationalen elektrischen Ausstellung
in Wien am 4. September 1883.)

Es wurde mir die Aufgabe zu Theil, vor Ihnen die quantitativen Grundbegriffe der Elektrostatik, „Elektricitätsmenge“, „Potential“, „Capacität“, in allgemein verständlicher Weise zu entwickeln. Es wäre nicht schwierig, selbst in dem Rahmen einer Stunde, die Augen durch zahlreiche schöne Experimente zu beschäftigen, und die Phantasie mit mannigfaltigen Vorstellungen zu erfüllen. Allein von einer klaren und mühelosen Uebersicht der Thatsachen wären wir dann noch weit entfernt. Noch würde uns das Mittel fehlen, die Thatsachen in Gedanken genau nachzubilden, was für den Theoretiker und Praktiker von gleicher Wichtigkeit ist. Dieses Mittel sind eben die Maassbegriffe der Elektricitätslehre.

So lange nur wenige vereinzelt Forscher sich mit einem Gebiete beschäftigen, so lange jeder Versuch noch leicht wiederholt werden kann, genügt wohl eine Fixirung der gesammelten Erfahrungen durch eine beiläufige Beschreibung. Anders verhält es sich, wenn jeder die Erfahrungen Vieler verwerthen muss, wie dies der Fall ist, sobald die Wissenschaft eine breitere Basis gewonnen hat, und noch mehr, sobald sie anfängt, einem wichtigen Zweige der Technik Nahrung zu geben, und umgekehrt aus dem praktischen Leben wieder in grossartiger Weise Erfahrungen zu schöpfen. Dann müssen die Thatsachen so beschrieben werden, dass jeder und allerorten dieselben aus wenigen leicht zu be-

schaffenden Elementen in Gedanken genau zusammensetzen, und nach dieser Beschreibung reproduciren kann. Dies geschieht mit Hilfe der Maassbegriffe und der internationalen Maasse.

Die in dieser Richtung in der Periode der rein wissenschaftlichen Entwicklung namentlich durch Coulomb (1784), Gauss (1833) und Weber begonnene Arbeit wurde mächtig gefördert durch die Bedürfnisse der grossen technischen Unternehmungen, die sich besonders seit der Legung des ersten transatlantischen Kabels fühlbar machten, und wurde glanzvoll der Vollendung entgegengeführt durch die Arbeiten der British Association (1861) und des Pariser Congresses (1881), namentlich durch die Bemühungen von Sir William Thomson.

Es versteht sich, dass ich Sie in der mir zugemessenen Zeit nicht alle die langen und gewundenen Pfade führen kann, welche die Wissenschaft wirklich eingeschlagen hat, dass es nicht möglich ist, bei jedem Schritt an alle die kleinen Vorsichten zur Vermeidung von Fehlritten zu erinnern, welche die früheren Schritte uns gelehrt haben. Ich muss mich vielmehr mit den einfachsten und rohesten Mitteln behelfen. Die kürzesten Wege von den That-sachen zu den Begriffen will ich Sie führen, wobei es mir allerdings nicht möglich sein wird, allen den Kreuz- und Quergedanken, die sich beim Anblick der Seitenwege einstellen können, ja einstellen müssen, zuvorzukommen.

Wir betrachten zwei kleine, gleiche, leichte, frei aufgehängte Körperchen, (Fig. 1), die wir entweder durch Reibung mit einem dritten Körper oder durch Berührung mit einem schon elektrischen Körper „elektrisieren“. Sofort zeigt sich eine abstossende Kraft, welche die beiden Körperchen von einander (der Wirkung der Schwere entgegen) entfernt. Diese Kraft vermöchte dieselbe mechanische Arbeit wieder zu leisten, durch deren Aufwendung sie entstanden ist¹⁾.

Coulomb hat sich nun durch sehr umständliche Versuche mit Hilfe der Drehwage überzeugt, dass, wenn jene Körperchen

1) Würden die beiden Körper ungleichnamig elektrisirt werden, so würden sie anziehend aufeinander wirken.

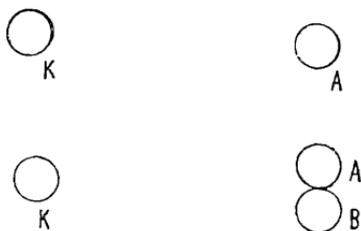
bei einem Abstände von 2 Cm. z. B. sich etwa mit derselben Kraft abstossen, mit welcher ein Milligrammgewicht zur Erde zu fallen strebt, dass sie dann bei der Hälfte der Entfernung, bei 1 Cm., mit vier Milligramm, und bei verdoppeltem Abstände, bei 4 Cm. mit nur $\frac{1}{4}$ Milligramm sich abstossen. Er fand, dass die elektrische Kraft verkehrt proportional dem Quadrat der Entfernung wirkt.

Stellen wir uns nun vor, wir hätten ein Mittel, die elektrische Abstossung durch Gewichte zu messen, welches einfache Mittel z. B. die elektrischen Pendel selbst sind, so könnten wir folgende Beobachtung machen.

Fig. 1.



Fig. 2.



Der Körper A, (Fig. 2), wird von dem Körper K bei 2 Cm. Entfernung etwa mit 1 Milligramm Druck abgestossen. Berühren wir nun A mit einem gleichen Körper B, so geht die Hälfte dieser Abstossungskraft an denselben über. Sowohl A als B werden nun bei 2 Cm. Entfernung von K nur mit je $\frac{1}{2}$ Milligramm, beide zusammen aber wieder mit 1 Milligramm abgestossen. Die Theilung der elektrischen Kraft unter die sich berührenden Körper ist eine Thatsache. Eine keineswegs nothwendige aber nützliche Zuthat ist es, wenn wir uns vorstellen, in dem Körper A sei eine elektrische Flüssigkeit vorhanden, an deren Menge die elektrische Kraft gebunden ist, welche zur Hälfte nach B überfließt. Denn an die Stelle der neuen physikalischen Vorstellung tritt hiemit eine uns längst geläufige, welche wie von selbst in den gewohnten Bahnen abläuft.

Entsprechend dieser Vorstellung bezeichnen wir als die Electricitätsmenge Eins nach dem sehr allgemein angenommenen Centimeter-Gramme-Secundensystem (C.-G.-S.) diejenigen, welche auf eine gleiche Menge in der Entfernung von 1 Cm., mit der Krafterinheit, d. h. mit einer Kraft abstossend wirkt, welche der Masse von 1 Gr. in der Secunde einen Geschwindigkeitszuwachs von 1 Cm. ertheilt. Da eine Grammmasse durch die Erdschwere einen Geschwindigkeitszuwachs von etwa 981 Cm. in der Secunde erhält, so wird sie hiernach mit 981 (oder rund 1000) Krafterheiten des Centimeter-Gramme-Secundensystem angezogen, und ein Milligrammgewicht strebt etwa mit einer Krafterinheit dieses Systems zur Erde zu fallen.

Hiernach kann man sich leicht eine anschauliche Vorstellung von der Einheit der Electricitätsmenge verschaffen. Zwei je ein Gramm schwere, kleine Körperchen *K* sollen an 5 M. langen, fast gewichtslosen verticalen Fäden so aufgehängt sein, dass sie sich berühren. Werden beide gleich stark elektrisch, und entfernen sie sich hiebei um 1 Cm. von einander, so entspricht ihre Ladung der elektrostatischen Einheit der Electricitätsmenge, denn die Abstossung hält dann der Schwerkraft-Componente von rund 1 Milligramm das Gleichgewicht, welche die Körperchen einander zu nähern strebt.

Vertical unter einem an einer Wage äquilibrirten, sehr kleinen Kügelchen befinde sich ein zweites in 1 Cm. Entfernung. Werden beide gleich elektrisirt, so wird das Kügelchen an der Wage durch die Abstossung scheinbar leichter. Stellt ein Zuleggewicht von 1 Milligramm das Gleichgewicht her, so enthält jedes Kügelchen rund die elektrostatische Einheit der Electricitätsmenge.

Mit Rücksicht darauf, dass dieselben elektrischen Körper in verschiedener Entfernung verschiedene Kräfte aufeinander ausüben, könnte man an dem dargelegten Maass der Menge Anstoss nehmen. Was ist das für eine Menge, die bald mehr bald weniger wiegt, wenn man so sagen darf? Allein diese scheinbare Abweichung von der gewöhnlichen Mengenbestimmung im bürgerlichen Leben durch das Gewicht ist vielmehr, genau betrachtet, eine Uebereinstimmung. Auch eine schwere Masse wird auf einem hohen Berg schwächer zur Erde gezogen als im Meeresniveau, und wir können von einer Bestimmung des Niveau's nur deshalb Umgang

nehmen, weil wir den Körper mit dem Gewichtssatz ohnehin immer nur in demselben Niveau vergleichen.

Würden wir aber von den beiden gleichen Gewichten, welche sich an einer Waage das Gleichgewicht halten, das eine dem Erdmittelpunkte merklich nähern, indem wir dasselbe an einem sehr langen Faden aufhängen, wie dies Prof. v. Jolly in München ausgedacht hat, so würden wir diesem letzteren ein entsprechendes Uebergewicht verschaffen.

Denken wir uns zwei verschiedene elektrische Flüssigkeiten, die positive und die negative, von derartiger Beschaffenheit, dass die Theile dieser beiden Flüssigkeiten sich gegenseitig verkehrt quadratisch anziehen, jene derselben Flüssigkeit aber nach demselben Gesetz gegenseitig abstossen, denken wir uns in unelektrischen Körpern beide Flüssigkeiten in gleichen Mengen gleichmässig vertheilt, dagegen in elektrischen Körpern die eine der beiden im Ueberschuss, denken wir uns ferner in Leitern die Flüssigkeiten frei beweglich, in Nichtleitern unbeweglich, so haben wir die von Coulomb zu mathematischer Schärfe entwickelte Vorstellung. Wir brauchen uns nur dieser Vorstellung hinzugeben, so sehen wir im Geiste die Flüssigkeitstheilchen eines etwa positiv geladenen Leiters, sich möglichst von einander entfernend, alle nach der Oberfläche des Leiters wandern, dort die vorspringenden Theile und Spitzen aufsuchen, bis hiebei die grösstmögliche Arbeit geleistet ist. Bei Vergrösserung der Oberfläche sehen wir eine Zerstreung, bei Verkleinerung derselben eine Verdichtung der Theilchen. In einem zweiten dem ersteren angenäherten unelektrischen Leiter, sehen wir sofort die beiden Flüssigkeiten sich trennen, die positive auf der abgekehrten, die negative auf der zugekehrten Seite der Oberfläche sich sammeln. Darin, dass diese Vorstellung alle nach und nach durch mühsame Beobachtung gefundenen Thatsachen anschaulich und wie von selbst reproducirt, liegt ihr Vortheil und ihr wissenschaftlicher Werth. Allerdings ist hiermit auch ihr Werth erschöpft, und wir dürften nicht etwa nach den beiden hypothetischen Flüssigkeiten, die wir ja nur hinzugedacht haben, in der Natur suchen, ohne auf Abwege zu gerathen. Die Coulomb'sche Vorstellung kann durch eine gänzlich andere, wie z. B. die Faraday'sche ersetzt werden. Und das Richtigste bleibt es immer, nachdem die Uebersicht gewonnen ist, auf das Thatsächliche, auf die elektrischen Kräfte zurückzugehen.

Wir wollen uns nun zunächst mit der Vorstellung der Elektrizitätsmenge, und der Art dieselbe bequem zu messen oder zu schätzen, vertraut machen.

Wir denken uns eine gewöhnliche Leydener-Flasche, Fig. 3, deren innere und äussere Belegung mit leitenden, etwa 1 Cm. von einander abstehenden Funkenkugeln verbunden ist. Ladet man die innere Belegung mit der Elektrizitätsmenge $+q$, so tritt auf der äusseren Belegung durch das Glas hindurch eine Vertheilung ein. Eine der Menge $+q$ fast gleiche²⁾ positive Menge fliesst in die Erde ab, während die entsprechende $-q$ auf der äusseren Belegung bleibt. Die Funkenkugeln enthalten von diesen Mengen ihren Antheil, und wenn die Menge q eben gross genug ist, tritt eine Durchbrechung der isolirenden Luft zwischen den Kugeln und eine Selbstentladung der Flasche ein. Zur Selbstentladung der Flasche bei bestimmter Distanz und Grösse der Funkenkugeln gehört jedesmal die Ladung durch die bestimmte Elektrizitätsmenge q .

Fig. 3.

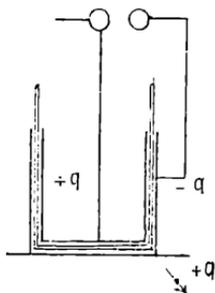
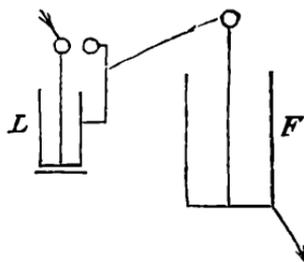


Fig. 4.



Isoliren wir nun die äussere Belegung der eben beschriebenen Lane'schen Maassflasche L , und setzen dieselbe mit der inneren Belegung einer aussen abgeleiteten Flasche F in Verbindung (Fig. 4). Jedesmal wenn L mit $+q$ geladen wird, tritt auch $+q$ auf die innere Belegung von F , und eine Selbstentladung der Flasche L , die nun wieder leer ist, findet statt. Die Zahl der Ent-

2) Die abfliessende Menge ist thatsächlich kleiner als q . Sie wäre der Menge q nur dann gleich, wenn die innere Belegung der Flasche von der äussern ganz eingeschlossen wäre.

ladungen der Flasche L gibt also ein Maass der Menge, welche in die Flasche F geladen wurde, und wenn man nach 1, 2, 3 Selbstentladungen von L die Flasche F entladet, kann man sich von der entsprechenden successiven Vermehrung ihrer Ladung überzeugen.

Vorsehen wir die Flasche F mit gleich grossen und gleich weitabstehenden Funkenkugeln zur Selbstentladung wie die Flasche L . (Fig. 5.) Finden wir dann z. B., dass fünf Entladungen der Maassflasche stattfinden, bevor eine Selbstentladung der Flasche F ein-

Fig. 5.

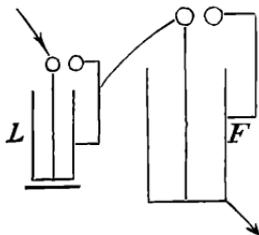
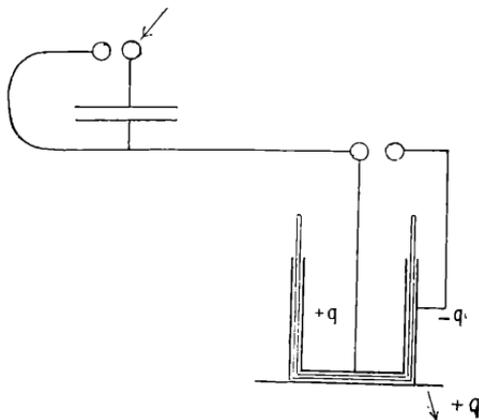


Fig. 6.



tritt, so sagt dies, dass die Flasche F bei gleichem Abstand der Funkenkugeln, bei gleicher Schlagweite, die fünffache Elektrizitätsmenge zu fassen vermag wie L , dass sie die fünffache Capacität hat³⁾.

Wir wollen nun die Maassflasche L , mit welcher wir sozusagen in die Flasche F einmessen, durch eine Franklin'sche Tafel

- 3) Genau ist dies allerdings nicht richtig. Zunächst ist zu bemerken, dass sich die Flasche L zugleich mit der Maschinenelektrode entladen muss. Die Flasche F hingegen wird immer zugleich mit der äusseren Belegung der Flasche L entladen. Nennt man also die Capacität der Maschinenelektrode E , die der Maassflasche L , die Capacität der äusseren Belegung von L aber A , und jene der Hauptflasche F , so würde dem Beispiel im Text die Gleichung entsprechen: $\frac{F+A}{L+E} = 5$. Eine weitere Störung der Genauigkeit bringen die Entladungsrückstände mit sich.

aus zwei parallelen ebenen Metallplatten ersetzen (Fig. 6), welche nur durch Luft getrennt sind. Genügen nun beispielsweise 30 Selbstentladungen der Tafel, um die Flasche zu füllen, so sind hiezu etwa 10 Entladungen hinreichend, wenn man den Luftraum zwischen den beiden Platten durch einen eingeschobenen Schwefelkuchen ausfüllt. Die Capacität der Franklin'schen Tafel aus Schwefel ist also etwa dreimal grösser, als jene eines gleich geformten und gleich grossen Luftcondensators oder, wie man sich auszudrücken pflegt, das specifische Inductionsvermögen des Schwefels (jenes der Luft als Einheit genommen) ist etwa 3.⁴⁾ Wir sind hier auf eine sehr einfache Thatsache gestossen, welche uns die Bedeutung der Zahl, die man Dielektricitätsconstante oder speci-

Fig. 7.

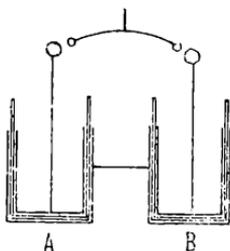
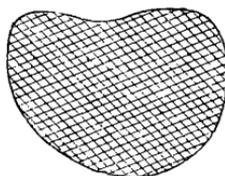


Fig. 8.



fisches Inductionsvermögen nennt, und deren Kenntniss für die Theorie unterseeischer Kabel so wichtig ist, nahe legt.

Wir betrachten eine Flasche *A*, welche mit einer gewissen Elektrizitätsmenge geladen ist. Wir können die Flasche direct entladen. Wir können aber auch die Flasche *A* (Fig. 7) theilweise in eine Flasche *B* entladen, indem wir die beiden äussern Belegungen mit einander verbinden.

4) Mit Rücksicht auf die in Anmerkung 3) angedeuteten Correctionen erhielt ich für die Dielektricitäts-Constante des Schwefels die Zahl 3.2, welche mit den durch feinere Methoden gewonnenen Zahlen genügend übereinstimmt. Genau genommen müsste man eigentlich die beiden Condensatorplatten einmal ganz in Luft, das anderemal ganz in Schwefel versenken, wenn das Capacitäts-Verhältniss der Dielektricitäts-Constante entsprechen sollte. In Wirklichkeit ist aber der Fehler, der dadurch entsteht, dass man nur eine Schwefelplatte einschiebt, welche den Raum zwischen den beiden Platten genau ausfüllt, nicht von Belang.

Ein Theil der Elektrizitätsmenge geht hiebei unter Funkenbildung in die Flasche *B*, über und wir finden nun beide Flaschen geladen.

Dass die Vorstellung einer unveränderlichen Elektrizitätsmenge als Ausdruck einer reinen Thatsache betrachtet werden kann, sehen wir auf folgende Art. Wir denken uns einen beliebigen elektrischen Leiter, Fig. 8, der isolirt ist, zerschneiden ihn in eine grosse Anzahl kleiner Stückchen und bringen dieselben mit einer isolirten Zange auf 1 Cm. Entfernung von einem elektrischen Körper, der auf einen gleichen gleich beschaffenen in derselben Distanz die Krafterinheit ausübt. Die Kräfte, welche der letztere Körper auf die einzelnen Leiterstücke ausübt, zählen wir zusammen. Diese Kraftsumme ist nichts anderes als die Elektrizitätsmenge des ganzen Leiters. Sie bleibt immer dieselbe, ob wir die Form und Grösse des Leiters ändern, ob wir ihn einem andern elektrischen Leiter nähern oder entfernen, so lange wir nur den Leiter isolirt lassen, d. h. nicht entladen.

Auch von einer anderen Seite her scheint sich für die Vorstellung der Elektrizitätsmenge eine reelle Basis zu ergeben. Wenn durch eine Säule von angesäuertem Wasser ein Strom, also nach unserer Vorstellung eine bestimmte Elektrizitätsmenge per Secunde hindurchgeht, so wird mit dem positiven Strom Wasserstoff, gegen den Strom Sauerstoff an den Enden der Säule ausgeschieden. Für eine bestimmte Elektrizitätsmenge erscheint eine bestimmte Sauerstoffmenge. Man kann sich die Wassersäule als eine Wasserstoffsäule und eine Sauerstoffsäule denken, die sich durch einander hindurchschieben, und kann sagen, der elektrische Strom ist ein chemischer Strom und umgekehrt. Wenngleich diese Vorstellung im Gebiete der statischen Elektrizität und bei nicht zersetzbaren Leitern schwerer festzuhalten ist, so ist ihre weitere Entwicklung doch keineswegs aussichtslos.

Die Vorstellung der Elektrizitätsmenge ist also keineswegs eine so luftige, wie es scheinen könnte, sondern dieselbe vermag uns mit Sicherheit durch die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen zu leiten, und wird uns durch die Thatsachen in beinahe greifbarer Weise nahegelegt. Wir können die elektrische Kraft in einem Körper aufsammeln, mit einem Körper dem anderen zumessen, aus einem Körper in den anderen überführen, sowie wir Flüssigkeit in einem Gefäss aufsammeln, mit einem Gefäss in ein anderes einmessen, aus einem in das andere übergiessen können.

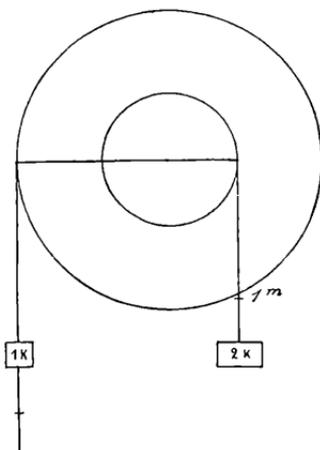
Zur Beurtheilung mechanischer Vorgänge hat sich an der Hand der Erfahrung ein Maassbegriff als vortheilhaft erwiesen, der mit dem Namen Arbeit bezeichnet ist. Eine Maschine geräth nur dann in Bewegung, wenn die an derselben wirksamen Kräfte Arbeit leisten können.

Betrachten wir z. B. ein Wellrad (Fig. 9) mit den Halbmessern 1 und 2 M., an welchen beziehungsweise die Gewichte 2 und 1 Kilo angebracht sind. Drehen wir das Wellrad, so sehen wir etwa das Kilogewicht um 2 M. sinken, während das Zweikilogewicht um 1 M. steigt. Es ist auf beiden Seiten das Product

$$\begin{array}{cccc} \text{Kgr.} & \text{M.} & \text{Kgr.} & \text{M.} \\ 1 & \times & 2 & = & 2 & \times & 1 \end{array}$$

gleich. So lange dieses Product beiderseits gleich ist, bewegt sich das Wellrad nicht von selbst. Wählen wir aber die Belastungen

Fig. 9.



oder die Halbmesser so, dass das Product Kilo \times Meter bei einer Verschiebung auf der einen Seite einen Ueberschuss erhält, so wird diese Seite sinken. Das Product ist also charakteristisch für den mechanischen Vorgang, und ist eben deshalb mit einem besonderen Namen belegt, Arbeit genannt worden.

Bei allen mechanischen Vorgängen, und da alle physikalischen Vorgänge eine mechanische Seite darbieten, bei allen physikalischen Processen, spielt die Arbeit eine maassgebende Rolle. Auch die

elektrischen Kräfte bringen nur solche Veränderungen hervor, bei welchen Arbeit geleistet wird. Insofern bei den elektrischen Erscheinungen Kräfte ins Spiel kommen, reichen sie ja, mögen sie sonst was immer sein, in's Gebiet der Mechanik hinein, und haben sich den in diesem Gebiete geltenden Gesetzen zu fügen. Als Maass der Arbeit betrachtet man also das Product aus der Kraft in den Wirkungsweg derselben, und in dem G.-C.-S.-System gilt als Arbeitseinheit die Wirkung einer Kraft, welche einer Gramm-masse in der Secunde einen Geschwindigkeitszuwachs von 1 Cm. ertheilt, auf 1 Cm. Wegstrecke, also rund etwa die Wirkung eines Milligramm-Gewichtsdruckes auf 1 Cm. Wegstrecke.

Von einem positiv geladenen Körper wird Electricität, den Abstossungskräften folgend und Arbeit leistend, wenn eine leitende Verbindung besteht, zur Erde abfliessen. An einen negativ geladenen Körper gibt umgekehrt unter denselben Umständen die Erde positive Electricität ab. Die elektrische Arbeit, welche bei der Wechselwirkung eines Körpers mit der Erde möglich ist, charakterisirt den elektrischen Zustand des ersteren. Wir wollen die Arbeit, welche wir auf die Einheit der positiven Electricitätsmenge aufwenden, wenn wir dieselbe von der Erde zu dem Körper K hinaufschaffen, das Potential des Körpers K nennen.⁵⁾

Wir schreiben dem Körper K im C.-G.-S.-System das Potential $+1$ zu, wenn wir die Arbeitseinheit aufwenden müssen, um die positive elektrostatische Einheit der Electricitätsmenge von der Erde zu ihm hinaufzuschaffen, das Potential -1 , wenn wir bei

5) Da diese Definition in ihrer einfachen Form zu Missverständnissen Anlass geben kann, werden derselben gewöhnlich noch Erläuterungen hinzugefügt. Es ist nämlich klar, dass man keine Electricitätsmenge auf K hinaufschaffen kann, ohne die Vertheilung auf K und das Potential auf K zu ändern. Man hat sich demnach die Ladungen an K festgehalten zu denken, und eine so kleine Menge hinaufzuführen, dass durch dieselbe keine merkliche Aenderung entsteht. Nimmt man die aufgewendete Arbeit so vielmal als jene kleine Menge in der Einheit aufgeht, so erhält man das Potential. — Kurz und scharf lässt sich das Potential eines Körpers K in folgender Weise definiren. Wendet man das Arbeitselement dW auf, um das Element dQ der positiven Menge von der Erde auf den Leiter zu fördern, so ist das Potential des Leiters K gegeben durch $V = \frac{dW}{dQ}$.

derselben Procedur die Arbeitseinheit gewinnen, das Potential 0, wenn hiebei keine Arbeit geleistet wird.

Den verschiedenen Theilen desselben im elektrischen Gleichgewicht befindlichen Leiters entspricht dasselbe Potential, denn andernfalls würde die Elektrizität Arbeit leistend in diesem Leiter sich bewegen, und es bestünde noch kein Gleichgewicht. Verschiedene Leiter von gleichem Potential, in leitende Verbindung gebracht bieten keinen Austausch von Elektrizität dar, eben so wenig als bei sich berührenden Körpern von gleicher Temperatur ein Wärmeaustausch oder bei verbundenen Gefäßen von gleichem Flüssigkeitsdruck ein Flüssigkeitsaustausch stattfindet.

Nur zwischen Leitern verschiedenen Potentials findet ein Austausch der Elektrizität statt, und bei Leitern von gegebener Form und Lage ist eine bestimmte Potentialdifferenz nothwendig, damit zwischen denselben ein die isolirende Luft durchbrechender Funke überspringt.

Je zwei verbundene Leiter nehmen sofort dasselbe Potential an, und hiemit ist das Mittel gegeben, das Potential eines Leiters mit Hilfe eines anderen hiezu geeigneten, eines sogenannten Elektrometers ebenso zu bestimmen, wie man die Temperatur eines Körpers mit dem Thermometer bestimmt. Die auf diese Weise gewonnenen Potentialwerthe der Körper erleichtern, wie dies nach dem Besprochenen einleuchtet, ungemein das Urtheil über deren elektrisches Verhalten.

Denken wir uns einen positiv geladenen Leiter. Verdoppeln wir alle elektrischen Kräfte, welche derselbe auf einen mit der Einheit geladenen Punkt ausübt, d. h. verdoppeln wir an jeder Stelle die Menge, verdoppeln wir also auch die Gesammtladung, so besteht ersichtlich das Gleichgewicht fort. Führen wir aber nun die positive elektrostatische Einheit dem Leiter zu, so haben wir überall die doppelten Abstossungskräfte zu überwinden wie zuvor, wir haben die doppelte Arbeit aufzuwenden, das Potential hat sich mit der Ladung des Leiters verdoppelt, Ladung und Potential sind einander proportional. Wir können also die gesammte Menge der Elektrizität eines Leiters mit Q , das Potential desselben mit V bezeichnend, schreiben: $Q = CV$, wobei also C eine Constante bedeutet, deren Bedeutung sich ergibt, wenn wir bedenken, dass $C = \frac{Q}{V}$ ist. Dividiren wir aber die Anzahl der Mengeneinheiten

eines Leiters durch die Anzahl seiner Potentialeinheiten, so erfahren wir, welche Menge auf die Einheit des Potentials entfällt. Wir nennen nun die betreffende Zahl C die Capacität des Leiters, und haben somit an Stelle der relativen eine absolute Bestimmung der Capacität gesetzt. ⁶⁾

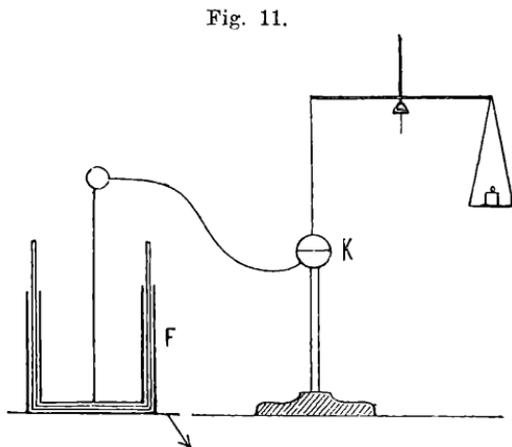
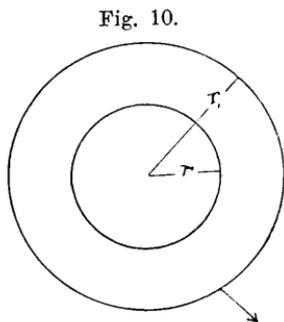
In einfachen Fällen lässt sich nun der Zusammenhang zwischen Ladung, Potential und Capacität ohne Schwierigkeit ermitteln. Der Leiter sei z. B. eine Kugel vom Radius r frei in einem grossen Luftraum. Dann vertheilt sich die Ladung q , da keine anderen Leiter in der Nähe sind, gleichmässig auf ihrer Oberfläche, und einfache geometrische Betrachtungen ergeben für das Potential den Ausdruck $V = \frac{q}{r}$. Hiernach ist also $\frac{q}{V} = r$, d. h. die Capacität wird durch den Radius, und zwar im C.-G.-S.-System in Centimetern gemessen. ⁷⁾ Es ist auch klar, da ein Potential eine Menge durch eine Länge dividirt ist, so muss eine Menge durch ein Potential dividirt, eine Länge sein.

Denken wir uns, (Fig. 10), eine Flasche aus zwei concentrischen leitenden Kugelflächen von den Radien r und r_1 gebildet, welche nur Luft zwischen sich enthalten. Leitet man die äussere Kugel zur Erde ab, und ladet die innere durch einen dünnen

- 6) Zwischen den Begriffen „Wärmecapacität“ und „elektrische Capacität“ besteht eine gewisse Uebereinstimmung, doch darf auch der Unterschied beider Begriffe nicht ausser Acht gelassen werden. Die Wärmecapacität eines Körpers hängt nur von ihm selbst ab. Die elektrische Capacität eines Körpers K wird aber durch alle Nachbarkörper beeinflusst, indem auch die Ladung dieser Körper das Potential von K ändern kann. Um demnach dem Begriff Capacität (C) des Körpers K einen unzweideutigen Sinn zu geben, versteht man unter C das Verhältniss $\frac{Q}{V}$ für den Körper K bei einer gegebenen Lage aller Nachbarkörper und Ableitung aller benachbarten Leiter zur Erde. In den für die Praxis wichtigen Fällen gestaltet sich die Sache viel einfacher. Die Capacität einer Flasche z. B., deren innere Belegung durch die äussere abgeleitete fast umschlossen ist, wird durch geladene oder ungeladene Nebenleiter nicht merklich beeinflusst.
- 7) Diese Formeln ergeben sich sehr leicht aus dem Newton'schen Satze, dass eine homogene Kugelschicht, deren Elemente verkehrt quadratisch wirken, auf einen inneren Punkt gar keine Kraft ausübt, auf einen äusseren aber wie die im Kugelmittelpunkt vereinigte Masse wirkt. Aus demselben Satz fliessen auch noch die zunächst folgenden Formeln.

durch die erstere isolirt hindurchgeführten Draht mit der Menge Q , so ist $V = \frac{r_1 - r}{r_1 r} Q$ und die Capacität in diesem Falle $\frac{r_1 r}{r_1 - r}$ also wenn z. B. $r = 16$, $r_1 = 19$, nahe $= 100$ Cm.

Diese einfachen Fälle wollen wir nun benützen, um das Princip der Capacitätsbestimmung und der Potentialbestimmung zu erläutern. Zunächst ist klar, dass wir die Flasche aus concentrischen Kugeln von bekannter Capacität als Maassflasche benutzen, und mit Hilfe derselben in der bereits dargelegten Weise die Capacität einer vorgelegten Flasche F ermitteln können. Wir finden



z. B., dass 37 Entladungen dieser Maassflasche von der Capacität 100 die vorliegende Flasche zu gleicher Schlagweite, das ist zu gleichem Potential laden. Demnach ist die Capacität der vorliegenden Flasche 3700 Cm. Die grosse Batterie des Prager physikalischen Institutes, welche aus 16 solchen nahe gleichen Flaschen besteht, hat demnach eine Capacität von etwas mehr als 50.000 Cm., also dieselbe Capacität wie eine frei im Luftraum schwebende Kugel von mehr als 1 Km. Durchmesser. Diese Bemerkung kann uns den grossen Vortheil nahe legen, welchen Leydener-Flaschen bei Aufspeicherung von Electricität gewöhnlichen Conductoren gegenüber gewähren. In der That unterscheiden sich Flaschen von einfachen Conductoren, wie schon Faraday wusste, wesentlich nur durch die grosse Capacität.

Zum Zwecke der Potentialbestimmung denken wir uns die innere Belegung einer Flasche F , deren äussere Belegung abgeleitet ist, durch einen dünnen langen Draht mit einer leitenden Kugel K verbunden, welche in einem Luftraume frei aufgestellt ist, gegen dessen Dimensionen der Kugelradius verschwindet. (Fig. 11.) Die Flasche und die Kugel nehmen sofort gleiches Potential an. Auf der Kugeloberfläche aber befindet sich, wenn dieselbe von allen anderen Leitern weit genug entfernt ist, eine gleichmässige Schichte von Elektrizität. Enthält die Kugel vom Radius r die Ladung q , so ist $V = \frac{q}{r}$ ihr Potential. Ist nun die obere Kugelhälfte abgeschnitten und an einer Wage, an deren Balken sie mit Seidenfäden befestigt ist, äquilibrirt, so wird die obere Hälfte von der unteren mit der Kraft $P = \frac{q^2}{8 r^2} = \frac{1}{8} V^2$ abgestossen. Diese Abstossung P kann durch ein Zuleggewicht ausgeglichen und folglich bestimmt werden. Das Potential ist dann $V = \sqrt{8 P}$. 8)

Dass das Potential der Wurzel aus der Kraft proportional geht, ist leicht einzusehen. Bei doppeltem oder dreifachem Potential ist die Ladung aller Theile verdoppelt oder verdreifacht, demnach ihre gegenseitige Abstossungswirkung schon vervierfacht, verneunfacht.

Betrachten wir ein besonderes Beispiel. Ich will auf der Kugel das Potential 40 herstellen. Welches Uebergewicht muss ich der Kugelhälfte in Grammen geben, damit der Abstossungskraft eben

-
- 8) Die Energie einer mit der Menge q geladenen Kugel vom Halbmesser r ist $\frac{1}{2} \frac{q^2}{r}$. Dehnt sich der Radius um $d r$, so findet hiebei ein Energieverlust statt, und die geleistete Arbeit ist $\frac{1}{2} \frac{q^2}{r^2} d r$. Nennt man p den gleichmässigen elektrischen Druck auf die Oberflächeneinheit der Kugel, so ist die betreffende Arbeit auch $4 r^2 \pi p d r$, demnach $p = \frac{1}{8 r^2 \pi} \frac{q^2}{r^2}$. Die Halbkugel von allen Seiten demselben Oberflächendruck etwa in einer Flüssigkeit ausgesetzt, wäre im Gleichgewicht. Demnach haben wir den Druck p auf die Fläche des grössten Kreises wirken zu lassen, um die Wirkung auf die Wage zu erhalten, welche ist $r^2 \pi p = \frac{1}{8} \frac{q^2}{r^2} = \frac{1}{8} V^2$.

das Gleichgewicht gehalten wird? Da ein Grammgewicht etwa 1000 Kraftereinheiten entspricht, so haben wir folgende einfache Rechnung $40 \times 40 = 8 \times 1000$ x , wobei x die Anzahl der Gramme bedeutet. Es ist rund $x = 0.2$ Gramme. Ich lade die Flasche. Es erfolgt der Ausschlag, ich habe das Potential 40 erreicht oder eigentlich überschritten und Sie sehen, wenn ich die Flasche entlade, den zugehörigen Funken.⁹⁾

Die Schlagweite zwischen den Funkenkugeln einer Maschine wächst mit der Potentialdifferenz, wenn auch nicht proportional derselben. Die Schlagweite wächst rascher als die Potentialdifferenz. Bei einem Abstand der Funkenkugeln von 1 Cm. an dieser Maschine ist die Potentialdifferenz 110. Man kann sie leicht auf das Zehnfache bringen. Und welche bedeutende Potentialdifferenzen in der Natur vorkommen, sieht man daraus, dass die Schlagweite der Blitze bei Gewittern nach Kilometern zählt. Die Potentialdifferenzen bei galvanischen Batterien sind bedeutend kleiner, als jene an unserer Maschine, denn erst einige hundert Elemente geben einen Funken von mikroskopischer Schlagweite.

Wir wollen nun die gewonnenen Begriffe benützen, um eine andere wichtige Beziehung der elektrischen und mechanischen Vorgänge zu beleuchten. Wir wollen untersuchen, welche potentielle Energie oder welcher Arbeitsvorrath in einem geladenen Leiter, z. B. in einer Flasche, enthalten ist.

Schafft man eine Elektrizitätsmenge auf einen Leiter, oder ohne Bild gesprochen, erzeugt man durch Arbeit elektrische Kraft an einem Leiter, so vermag diese Kraft die Arbeit wiederzugeben,

9) Die eben angegebene Disposition ist aus mehreren Gründen zur wirklichen Messung des Potentials nicht geeignet. Das Thomson'sche absolute Elektrometer beruht auf einer sinnreichen Modification der elektrischen Wage von Harris und Volta. Von zwei grossen planparallelen Platten ist die eine zur Erde abgeleitet, die andere auf das zu messende Potential gebracht. Ein kleines bewegliches Flächenstück f der letzteren hängt an der Wage zur Bestimmung der Attraction P . Bei dem Plattenabstand D ergibt sich

$$V = D \sqrt{\frac{8 \pi P}{f}}$$

durch welche sie entstanden ist. Wie gross ist nun die Energie oder Arbeitsfähigkeit eines Leiters von bekannter Ladung Q und bekanntem Potential V ?

Wir denken uns die genannte Ladung Q in sehr kleine Theile q, q_1, q_2 getheilt, und dieselben nach einander auf den Leiter geschafft. Die erste sehr kleine Menge q gelangt ohne merkliche Arbeit hinauf, erzeugt aber ein kleines Potential V_1 . Zur Förderung der zweiten Menge brauchen wir dann schon die Arbeit q, V_2 , und analog für die folgenden Mengen die Arbeiten q, V_3, q, V_4 u. s. f. Da nun das Potential den zugeführten Mengen selbst proportional bis V ansteigt, so ergibt sich entsprechend unserer graphischen Darstellung, (Fig. 12), die Gesamtarbeit

$$W = \frac{1}{2} Q V$$

welche der gesammten Energie des geladenen Leiters entspricht. Mit Rücksicht auf die Gleichung $Q = CV$, worin C die Capacität bedeutet, können wir auch sagen

$$W = \frac{1}{2} C^2 V, \text{ oder } W = \frac{Q^2}{2 C}$$

Es wird vielleicht nützlich sein, den ausgeführten Gedanken noch durch eine Analogie aus dem Gebiete der Mechanik zu er-

Fig. 12.

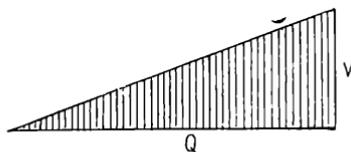
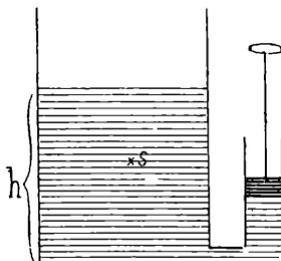


Fig. 13.



läutern. Wenn wir eine Flüssigkeitsmenge Q allmähig in ein cylindrisches Gefäss pumpen, (Fig. 13), so steigt in diesem das Niveau ebenso allmähig. Je mehr wir schon eingepumpt haben, mit desto grösserem Druck müssen wir weiter pumpen, oder auf

ein desto höheres Niveau müssen wir die Flüssigkeit heben. Die aufgespeicherte Arbeit wird wieder verwendbar, wenn das Flüssigkeitsgewicht Q , welches bis zum Niveau h reicht, wieder ausfließt. Diese Arbeit W entspricht dem Fall des ganzen Flüssigkeitsgewichtes Q um die mittlere Höhe $\frac{h}{2}$ oder um die Schwerpunkthöhe. Es ist

$$W = \frac{1}{2} Q h.$$

Und weil $Q = K h$, d. h. weil das Flüssigkeitsgewicht und die Höhe h proportional sind, ist auch

$$W = \frac{1}{2} K h^2 \text{ und } W = \frac{Q^2}{2 K}$$

Betrachten wir als specielles Beispiel unsere Flasche.

Die Capacität ist $C = 3700$,

das Potential $V = 110$, demnach

die Menge $Q = CV = 407.000$ elektrostatische Einheiten,

und die Energie $W = \frac{1}{2} Q V = 22,385.000$ C.-G.-S.-Arbeitseinheiten.

Diese Arbeitseinheit des C.-G.-S.-System liegt unserm Gefühl fern, und ist für uns wenig anschaulich, da wir gewohnt sind mit Gewichten zu operiren. Nehmen wir demnach als Arbeitseinheit ein Grammcentimeter, welche dem Druck eines Grammgewichtes auf die Wegstrecke von 1 Cm. entspricht, und welche rund 1000mal grösser ist als die vorher zu Grunde gelegte Einheit, so wird unsere Zahl rund 1000mal kleiner. Und übergehen wir zu dem praktisch so geläufigen Kilogrammometer als Arbeitseinheit, so ist dies wegen der 100mal grösseren Wegstrecke und dem 1000mal grösseren Gewicht, das wir nun zu Grunde legen, 100.000mal grösser. Die Zahl für die Arbeit fällt also 100.000mal kleiner aus und wird rund 0.22 Kilogrammometer. Wir können uns von dieser Arbeit sofort eine anschauliche Vorstellung verschaffen, wenn wir ein Kilogrammgewicht 22 Cm. tief fallen lassen.

Diese Arbeit wird also bei Ladung der Flasche geleistet, und kommt bei Entladung derselben nach Umständen theils als Schall,

theils als mechanische Durchbrechung von Isolatoren, theils als Licht und Wärme u. s. w. zum Vorschein.

Die erwähnte grosse Batterie des physikalischen Institutes aus 16 Flaschen zu gleichem Potential geladen, liefert, obgleich der Entladungseffect imposant ist, doch nur eine Gesamtarbeit von etwa 3 Kilogrammometer.

Bei Entwicklung der eben dargelegten Gedanken sind wir durchaus nicht auf den von uns eingeschlagenen Weg beschränkt, welcher nur als ein zur Orientirung vorzugsweise geeigneter gewählt wurde. Der Zusammenhang unter den physikalischen Erscheinungen ist vielmehr ein so mannigfacher, dass man derselben Sache auf sehr verschiedene Weise beikommen kann. Namentlich hängen die elektrischen Erscheinungen mit allen übrigen so innig zusammen, dass man die Elektrizitätslehre billig die Lehre vom Zusammenhang der physikalischen Erscheinungen nennen könnte, was Ihnen die folgenden Vorträge ohne Zweifel recht nahe legen werden.

Was insbesondere das Princip der Erhaltung der Energie betrifft, welches die elektrischen mit den mechanischen Erscheinungen verknüpft, so möchte ich noch kurz auf zwei Wege aufmerksam machen, diesen Zusammenhang zu verfolgen.

Professor Rosetti hat vor einigen Jahren an einer durch Gewicht betriebenen Influenzmaschine, die er abwechselnd in elektrischem und unelektrischem Zustande mit gleicher Geschwindigkeit in Gang setzte, in beiden Fällen die aufgewendete mechanische Arbeit bestimmt, und war dadurch in den Stand gesetzt, die nach Abzug der Reibungsarbeit rein auf Elektrizitätsentwicklung entfallende mechanische Arbeit zu ermitteln.

Ich selbst habe den Versuch in modificirter, und wie ich glaube, in vortheilhafter Form angestellt. Anstatt nämlich die Reibungsarbeit besonders zu bestimmen, habe ich den Apparat so eingerichtet, dass sie bei der Messung von selbst ausfällt, und gar nicht beachtet zu werden braucht. Die sogenannte fixe Scheibe der Maschine, deren Rotationsaxe vertical steht, ist ähnlich wie ein Kronleuchter an drei gleich langen verticalen Fäden von der

Länge l und dem Axenabstand r aufgehängt. Nur wenn die Maschine erregt ist, erhält diese Scheibe, welche einen Prony'schen Zaum vorstellt, durch die Wechselwirkung mit der rotirenden Scheibe eine Ablenkung α und ein Drehungsmoment, welches durch $D = \frac{P r^2}{l} \alpha$ ausgedrückt ist, wenn P das Scheibengewicht ist.¹⁰⁾ Der Winkel α wird durch einen auf die Scheibe gesetzten Spiegel bestimmt. Die bei n Umdrehungen aufgewendete Arbeit ist durch $2 n \pi D$ gegeben.

Schliesst man die Maschine in sich, wie es Rosetti gethan hat, so erhält man einen continuirlichen Strom, der alle Eigenschaften eines sehr schwachen galvanischen Stromes hat, z. B. an einem eingeschalteten Multiplicator einen Ausschlag erzeugt u. s. w. Man kann nun direct die zur Instandhaltung dieses Stromes aufgewendete mechanische Arbeit ermitteln.

Ladet man mit Hilfe der Maschine eine Flasche, so entspricht die Energie derselben, welche zur Funkenbildung, zur Durchbrechung von Isolatoren u. s. w. verwendet werden kann, nur einem Theil der aufgewendeten mechanischen Arbeit, indem ein anderer Theil im Schliessungsbogen verbraucht wird. Es ist ein Bild der Kraft- oder richtiger der Arbeitsübertragung, welches diese Maschine mit eingeschalteter Flasche im Kleinen darbietet. Und in der That gelten hier ähnliche Gesetze für den ökonomischen Coëfficienten, wie sie für die grossen Dynamomaschinen platzgreifen.¹¹⁾

Ein anderes Mittel zur Untersuchung der elektrischen Energie ist die Umwandlung derselben in Wärme. Riess hat derartige Versuche mit Hilfe seines elektrischen Luft-Thermometers ausgeführt, und zwar vor langer Zeit schon (1838), als die mechanische Wärmetheorie noch nicht so populär war wie heute.

Wird die Entladung durch einen durch die Kugel des Luft-Thermometers gezogenen feinen Draht geleitet, so lässt sich eine Wärmeentwicklung nachweisen, welche dem schon erwähnten Aus-

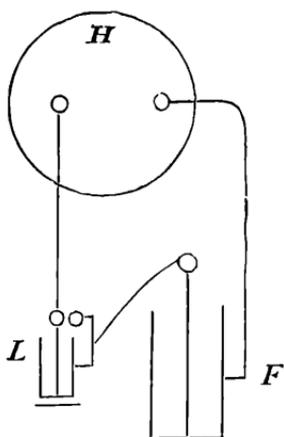
10) Dieses Drehungsmoment muss noch wegen der elektrischen Attraction der erregten Scheiben corrigirt werden. Dies erreicht man, indem man das Scheibengewicht durch Zuleggewichte ändert, und noch eine Winkelablesung macht.

11) In unserm Experiment verhält sich die Flasche wie ein Accumulator, der

druck $W = \frac{1}{2} Q V$ proportional geht. Wenn es nun auch noch nicht gelungen ist, die gesammte Energie auf diese Weise in messbare Wärme umzuwandeln, weil ein Theil in dem Funken in der Luft ausserhalb des Thermometers verbleibt, so spricht doch alles dafür, dass die gesammte in allen Leitertheilen und Entladungswegen schliesslich entwickelte Wärme das Aequivalent der Arbeit $\frac{1}{2} Q V$ sei.

Es kommt hiebei auch gar nicht darauf an, ob die elektrische Energie auf einmal oder theilweise, nach und nach umgewandelt wird. Wenn z. B. von zwei gleichen Flaschen die eine mit der Menge Q zum Potential V geladen ist, so ist die vorhandene Energie $\frac{1}{2} Q V$. Entladet man die Flasche in die andere, so sinkt wegen der doppelten Capacität V auf $\frac{V}{2}$. Es verbleibt also die

Fig. 14.



durch eine Dynamomaschine geladen wird. Welches Verhältniss zwischen der aufgewendeten und nutzbaren Arbeit besteht, wird durch folgende einfache Darstellung ersichtlich. Die Holtz'sche Maschine H , Fig. 14, lade eine Maassflasche L , welche nach n Entladungen mit der Menge q und dem Potential v , die Flasche F mit der Menge Q zum Potential V geladen hat. Die Energie der Maassflaschen-Entladungen ist verloren, und jene der Flasche F allein übrig. Demnach ist das Verhältniss der nutzbaren zur überhaupt aufgewendeten Arbeit

$$\frac{\frac{1}{2} Q V}{\frac{1}{2} Q V + \frac{n}{2} q v} \quad \text{und weil } Q = nq \text{ auch } \frac{V}{V + v}$$

Schaltet man nun auch keine Maassflasche ein, so sind doch die Maschinentheile und Zuleitungs-

drähte selbst solche Maassflaschen und es besteht die Formel fort $\frac{V}{V + \Sigma v}$, in welcher Σv die Summe aller hintereinander geschalteten Potentialdifferenzen im Schliessungskreise bedeutet.

Energie $\frac{1}{4} Q V$, während $\frac{1}{4} Q V$ im Entladungsfunken in Wärme umgewandelt wurde. Der Rest ist aber in beide Flaschen gleich vertheilt, so dass jede bei ihrer Entladung noch $\frac{1}{8} Q V$ in Wärme umzusetzen vermag.

Wir haben die Elektrizität in der beschränkten Erscheinungsform besprochen, welche den Forschern vor Volta allein bekannt war, und die man, vielleicht nicht ganz glücklich, statische Elektrizität oder Spannungselektrizität genannt hat. Es versteht sich aber, dass die Natur der Elektrizität überall eine und dieselbe ist, dass ein wesentlicher Unterschied zwischen statischer und galvanischer Elektrizität nicht besteht. Nur die quantitativen Umstände sind in beiden Gebieten so sehr verschieden, dass in dem zweiten ganz neue Seiten der Erscheinung, wie z. B. die magnetischen Wirkungen deutlich hervortreten können, welche in dem ersten unbemerkt blieben, während umgekehrt wieder die statischen Anziehungen und Abstossungen in dem zweiten Gebiete fast verschwinden. In der That kann man die magnetische Wirkung des Entladungsstromes einer Influenzmaschine leicht am Multiplicator nachweisen, doch hätte man schwerlich an diesem Strome die magnetische Wirkung entdecken können. Die statischen Fernwirkungen der Poldrähte eines galvanischen Elementes wären ebenfalls kaum zu beobachten, wenn die Erscheinung nicht schon von anderer Seite her in auffallender Form bekannt wäre.

Wollte man die beiden Gebiete in den Hauptzügen charakterisiren, so würde man sagen, dass in dem ersteren hohe Potentiale und kleine Mengen, in dem letzteren kleine Potentiale und grosse Mengen ins Spiel kommen. Eine sich entladende Flasche und ein galvanisches Element verhalten sich etwa wie eine Windbüchse und ein Orgelblasebalg. Erstere gibt plötzlich unter sehr hohem Druck eine kleine Luftquantität, letzterer allmählig unter sehr geringem Druck eine grosse Luftquantität frei.

Es würde zwar principiell nichts im Wege stehen, auch im Gebiet der galvanischen Elektrizität die elektrostatischen Maasse festzuhalten, und z. B. die Stromstärke zu messen durch die Zahl der elektrostatischen Einheiten, welche in der Secunde den Quer-

schnitt passiren, allein dies wäre in doppelter Hinsicht unpraktisch. Erstens würde man die magnetischen Anhaltspunkte der Messung, welche der Strom bequem darbietet, unbeachtet lassen, und dafür eine Messung setzen, die sich an dem Strom nur schwer und mit geringer Genauigkeit ausführen lässt. Zweitens würde man eine viel zu kleine Einheit anwenden und dadurch in dieselbe Verlegenheit kommen, wie ein Astronom, der die Himmelsräume in Metern, statt in Erdradien und Erdbahnhalbmassern ausmessen wollte, denn der Strom, welcher nach magnetischem Maasse (in C.-G.-S.) die Einheit darstellt, fördert etwa 30.000,000.000 (30 Tausend Millionen) elektrostatischer Einheiten in der Secunde durch den Querschnitt. Deshalb müssen hier andere Maasse zu Grund gelegt werden. Dies auseinanderzusetzen gehört aber nicht mehr zu meiner Aufgabe.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Lotos - Zeitschrift fuer Naturwissenschaften](#)

Jahr/Year: 1884

Band/Volume: [33](#)

Autor(en)/Author(s): Mach E.

Artikel/Article: [Ueber die Grundbegriffe der Elektrostatik \(Menge, Potential, Capacität u. s. w.\) 90-112](#)