

ABHANDLUNGEN

NEUNTER BAND.

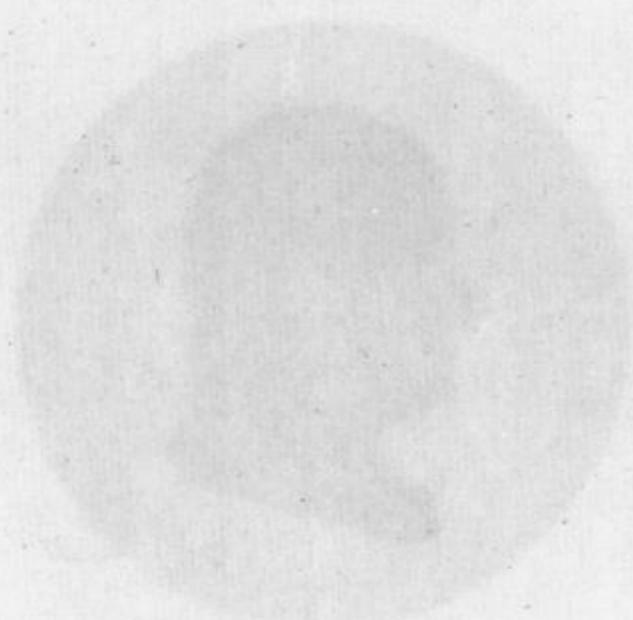
ABHANDLUNGEN

NEUNTER BAND

ABHANDLUNGEN

DER MATHEMATISCH-PHYSISCHEN KLASSE
DER KÖNIGLICHEN SÄCHSISCHEN
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

GESAMMELT VON
H. SCHUBERT



VERLAG VON
B. G. TEUBNER

LEIPZIG

1881

1881



ABHANDLUNGEN

DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN

GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.



NEUNTER BAND.

MIT ZEHN TAFELN.

LEIPZIG

BEI S. HIRZEL.

1864.

ABHANDLUNGEN
DER MATHEMATISCH-PHYSISCHEN CLASSE
DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN
GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.



SECHSTER BAND.
MIT ZEHN TAFELN.



LEIPZIG

BEI S. HIRZEL.

1864.

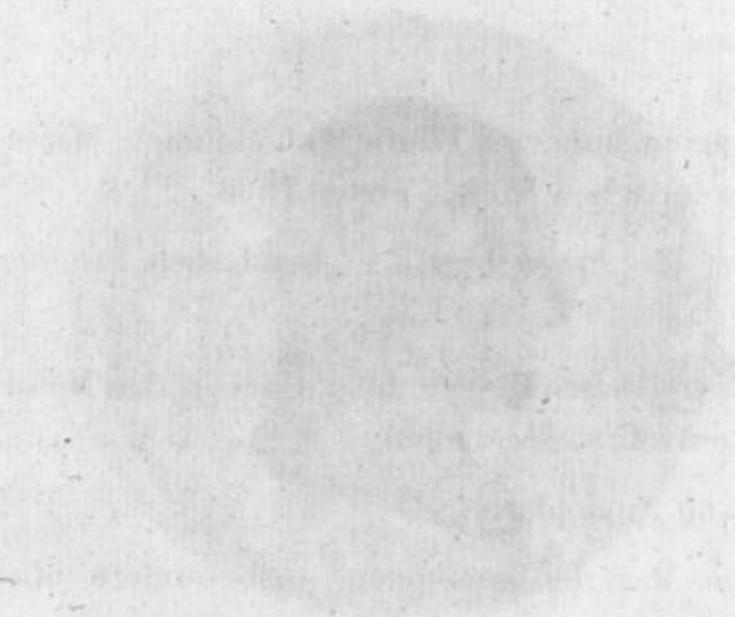
63

ABHANDLUNGEN

DER MATHEMATISCH-PHYSISCHEN CLASSE
DER KÖNIGLICHEN SÄCHSISCHEN
GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN

GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN

IN HALBEN



BEGRÜNDET VON
MICHIEL LEIBNIZ

LEIPZIG

BEI C. NEUBAUER

1707

ELEKTRISCHE UNTERSUCHUNGEN

INHALT.

- W. G. HANKEL, Elektrische Untersuchungen. Fünfte Abhandlung. Maassbestimmungen der elektromotorischen Kräfte, erster Theil S. 4
- W. G. HANKEL, Messungen über die Absorption der chemischen Strahlen des Sonnenlichtes - 53
- P. A. HANSEN, Darlegung der theoretischen Berechnungen der in den Mondtafeln angewandten Störungen. Erste Abtheilung - 94
- G. METTENIUS, Ueber den Bau von Angiopteris - 499
- W. WEBER, Elektrodynamische Maassbestimmungen, insbesondere über elektrische Schwingungen - 574



INHALT.

W. G. HANKE, Elektrische Untersuchungen. Fünfte Abhandlung. Massbestimmungen der elektromotorischen Kräfte, erster Theil	2
W. G. HANKE, Messungen über die Absorption der röntgenischen Strahlen des Sonnenlichtes	53
P. A. HANSEN, Darlegung der theoretischen Berechnungen der in den Mondtafeln angewandten Störungen. Erste Abtheilung	91
G. MEYER, Ueber den Bau von Anisopteren	199
W. WARR, Elektrodynamische Massbestimmungen, insbesondere über elektrische Schwingungen	271



ELEKTRISCHE UNTERSUCHUNGEN

VON

W. G. H A N K E L.

FÜNFTE ABHANDLUNG.

MAASSBESTIMMUNGEN DER ELEKTROMOTORISCHEN
KRÄFTE

ERSTER THEIL.



ELEKTROSTATISCHE UNTERSUCHUNGEN

W. G. HANKE

FÜNFTE ABHANDLUNG

MASSBESTIMMUNGEN DER ELEKTROMOTORISCHEN
KRÄFTE

ERSTER THEIL



Dresden, im Druck der Verlagsbuchhandlung von C. Neumann, Neudamm, 1874.



Eine genaue experimentelle Untersuchung führte Volta sehr bald zu der Ansicht, dass die von Galvani durch metallische Belegungen in den Froschpräparaten hervorgerufenen Zuckungen nicht, wie letzterer annahm, von einer eigenthümlichen thierischen Elektricität herrührten, sondern vielmehr den Einwirkungen einer mittelst der genannten Belegungen künstlich erzeugten Elektricität ihren Ursprung verdankten. Infolge des Ganges seiner Forschungen war Volta anfänglich sehr geneigt, den Vorgang oder die Kraft, welche hiebei das elektrische Fluidum in Bewegung setzt, in die Berührung der Metalle mit den feuchten Leitern zu verlegen; indess überzeugten ihn bald weitere Versuche, dass bei der gewöhnlichen Erregung der galvanischen Reize mittelst zweier verschiedener Metalle die erzielte Wirkung weit mehr dem wechselseitigen Contacte dieser Metalle als ihrer beiderseitigen Berührung mit den feuchten Leitern beizumessen sei, obwohl er auch bei Berührung von Metallen mit feuchten Leitern elektrische Erregungen, und zwar öfter in hohem Grade, nachzuweisen vermochte.

Seit jener Zeit sind nun seitens der Physiker vielfache Anstrengungen zur Ermittlung der bei Berührung der verschiedenen Metalle unter einander und mit Flüssigkeiten eintretenden elektrischen Erregungen gemacht worden. Betrachten wir jedoch die Gesammtheit aller dieser Untersuchungen, so kann uns das Mangelhafte und Unsichere der meisten derselben nicht entgehen; abgesehen von dem Fehlen genauer Zahlenwerthe, haben fast alle Experimentatoren sich nicht einmal Rechenschaft gegeben, durch welche Kräfte eigentlich der beobachtete Ausschlag des von ihnen zur Prüfung angewandten Elektrometers hervorgerufen wurde.

Der eben angedeutete Zustand der Lehre von der Erregung der Elektricität durch Berührung heterogener Leiter machte es möglich, dass man den Ursprung der Elektricität der Volta'schen Säule gar nicht mehr in der Berührung der verschiedenen Leiter, sondern allein in dem

chemischen Prozesse suchen zu müssen glaubte. Wird nun auch gegenwärtig von den meisten Physikern diese Ansicht nicht für richtig gehalten, so vermochte man doch bis jetzt nicht, über die elektrischen Erregungen, welche infolge der Berührung der verschiedenen zu einer galvanischen Kette oder Volta'schen Säule zusammengestellten Leiter entstehen, eine bestimmte Nachweisung zu geben. Die Wichtigkeit aber, welche eine genaue Kenntniss der elektromotorischen Kräfte nicht nur für die Physik, sondern auch für die Chemie hat, fordert dringend, dass die an diesem Punkte der Elektrizitätslehre seit länger als einem halben Jahrhunderte vorhandene grosse Lücke endlich ausgefüllt werde. Wenn bisher nicht mehr Versuche nach dieser Richtung hin unternommen oder veröffentlicht worden sind, so dürfte der Grund davon nicht in einer Verkennung ihrer Wichtigkeit, sondern vielmehr in den mit genauen Bestimmungen jener Kräfte verknüpften ausserordentlichen Schwierigkeiten zu suchen sein, die hauptsächlich in der Mangelhaftigkeit der zur Messung sehr schwacher elektrischer Spannungen benutzten Apparate begründet waren.

Das Nachfolgende wird den Beweis liefern, dass das von mir construirte und bereits früher beschriebene Elektrometer in Verbindung mit einer geeigneten condensatorischen Vorrichtung die oben erwähnten Hindernisse beseitigt hat, so dass die Bestimmung der elektromotorischen Kräfte in einem weiten, nur durch äussere, der Elektrizitätslehre fremde Hindernisse (Mangel brauchbarer Oberflächen bei vielen Metallen) beschränkten Umfange möglich geworden ist.

Da man bei den früheren bloss qualitativen Bestimmungen sich mit der Beobachtung eines zufällig vorhandenen Zustandes elektrischer Erregungen begnügte, ohne sich, wie bereits bemerkt, über den eigentlichen Ursprung derselben vollständige Rechenschaft zu geben, so mussten die meisten im Laufe der Zeit an den Oberflächen der Metalle und der Flüssigkeiten eintretenden Veränderungen ungeachtet ihrer Wichtigkeit für das Verständniss gewisser Vorgänge ihrem genaueren Verlaufe nach unbekannt bleiben. Ich habe daher ausser den Werthen der elektromotorischen Kräfte zwischen Metallen und Flüssigkeiten im Augenblicke der Berührung auch die in nicht zu langer Zeit in diesen Kräften eintretenden Veränderungen der Messung unterworfen.

Bei dem mangelhaften Zustande fast aller früheren Untersuchungen über die elektromotorischen Kräfte würde es ein gar zu zeitraubendes

und meistens sehr unfruchtbares Geschäft sein, das Geschichtliche dieses Theiles der Electricitätslehre hier ins Einzelne zu verfolgen; ich gehe daher sogleich zu einer Mittheilung meiner Beobachtungen über, und werde alle bereits vorliegenden brauchbaren oder in gewisser Beziehung wichtigen Angaben an den betreffenden Orten namhaft machen.

I. Vorrichtungen zur Beobachtung und Messung der elektromotorischen Kräfte.

1. Elektrometer.

Zur Messung der elektrischen Spannungen diene gewöhnlich das von mir construirte, in den Berichten der mathematisch-physischen Classe der Gesellschaft für 1850 S. 74 ff. und in Poggendorff's Annalen Bd. 84. S. 28 beschriebene und in meiner Abhandlung über die Messung der atmosphärischen Electricität (Bd. V. S. 393 der Abhandlungen der Gesellschaft) mit *A* bezeichnete Elektrometer; nur in speciellen Fällen ist auch das analog eingerichtete und in der letzt-erwähnten Abhandlung S. 403 mit *C* bezeichnete Elektrometer angewandt worden.

Es mag hier genügen daran zu erinnern, dass beide Elektrometer im Allgemeinen aus einem Goldblättchen bestehen, welches zwischen zwei isolirten und mittelst Mikrometerschrauben verstellbaren Messing-scheiben hängt. Diese Scheiben stehen mit den beiden Polen einer in ihrer Mitte zur Erde abgeleiteten Volta'schen Säule aus Kupfer, Zink und Wasser in Verbindung, empfangen also entgegengesetzte gleich starke Electricitäten und streben infolge dessen das zwischen ihnen hängende Goldblättchen, sobald es elektrisch wird, in gleichem Sinne zu bewegen. Die Grösse der Ablenkung dieses Blättchens wird durch ein mit Ocular-mikrometer versehenes Mikroskop genau gemessen.

Mittelst eines zwischen die Pole der Säule und die Scheiben eingeschalteten Commutators lassen sich die beiden Electricitäten in den Scheiben verwechseln, wodurch bei unveränderter elektrischer Spannung im Goldblättchen letzteres einen gleich grossen Ausschlag nach der entgegengesetzten Seite zeigt. Beobachtet man nun nicht die einfache Ablenkung des Goldblättchens aus der Ruhelage, sondern die Differenz der

Skalentheile des Ocularmikrometers, auf welche das Goldblättchen in den beiden entgegengesetzten Lagen des Commutators sich einstellt, so hat man (vgl. Bd. V. S. 417) den Vortheil, 1) dass man von der Ruhelage des Blättchens unabhängig ist, 2) dass die gemessenen Ausschläge doppelt so gross ausfallen, und 3) dass man dieselben durch wiederholtes Umlegen des Commutators beliebig oft messen kann, falls die Spannung im Goldblättchen constant bleibt. Eigentlich ist die Hälfte des Unterschiedes der beiden extremen Stellungen des Goldblättchens beim Umlegen des Commutators die wahre Ablenkung; da es jedoch im Folgenden stets nur auf relative Werthe ankommt, so sind, um Irrungen zu vermeiden, überall, wo beobachtete Ausschläge erwähnt werden, niemals die Ablenkungen selbst, sondern stets die doppelten Werthe derselben, also die vom Goldblättchen beim Umlegen des Commutators durchlaufenen Skalentheile angeführt worden.

Infolge der Berührung heterogener Leiter kann das Goldblättchen des Elektrometers, wenn es mit der Erde in Verbindung steht, niemals unelektrisch sein; im Allgemeinen wird also mein Elektrometer beim Umlegen des Commutators einen geringen Ausschlag geben, der aber in keiner Weise den Gebrauch des Instrumentes beeinträchtigt, sobald man denselben nur stets gehörig in Rechnung zieht.*)

*) Jedenfalls dürfte es die Bequemlichkeit erhöhen, wenn dieser ursprünglich im Elektrometer vorhandene Ausschlag einen möglichst geringen Werth besitzt; ich will daher in der Kürze angeben, wie es am schnellsten gelingt, ihn möglichst klein zu machen, oder falls es sein müsste, selbst ganz zum Verschwinden zu bringen.

Man stelle zunächst das Goldblättchen genau in die Mitte der beiden Scheiben, zwischen denen es hängt, oder genauer ausgedrückt, so, dass es von den zu beiden Seiten befindlichen elektrischen Scheiben eine gleiche Einwirkung erleidet, wenn dieselben mit einer und derselben Elektrizitätsquelle in Verbindung gesetzt werden.

Wie schon Bd. V. S. 414 dieser Abhandlungen erwähnt, lässt sich die eben geforderte Stellung der beiden Scheiben leicht finden, wenn man dieselben durch ihre Zuleitungsdrähte mit der Erde, das Goldblättchen aber mit dem einen Pole einer Volta'schen Säule in Verbindung setzt, und dann jene Scheiben mittelst der Mikrometerschrauben so lange verschiebt, bis die Lage des Goldblättchens bei seiner Verbindung mit dem Säulenpole dieselbe bleibt, wie bei seiner Ableitung zum Erdboden. Indess gelingt es öfter nicht, die Lage des Goldblättchens absolut unverändert zu erhalten; es bleiben bisweilen je nach der Stärke der dem Goldblättchen mitgetheilten Spannung kleine Bewegungen übrig, deren Grösse jedoch noch nicht $\frac{1}{20}$ Skalentheil erreicht und die aus einer elektrischen Verschiedenheit der beiden Scheiben hervorgehen. Aber auch in solchen Fällen lässt sich durch den zuvor angegebenen Versuch der gleiche Abstand der Scheiben finden; man braucht nur ab-

Sollen längere Zeit fortgesetzte Beobachtungen mit einander verglichen werden, so müssen die beobachteten Ausschläge des Goldblättchens auf gleiche Empfindlichkeit des Elektrometers reducirt werden.

wechselnd den negativen und den positiven Pol einer Säule zu dem Goldblättchen zu leiten und die Scheiben so zu stellen, dass die Ausschläge des Goldblättchens bei Verbindung mit beiden Polen in gleicher Grösse nach entgegengesetzten Seiten erfolgen.

Ist auf vorstehende Weise die Stellung der beiden Scheiben berichtigt worden, so verbindet man die Scheiben durch Vermittelung eines Commutators mit den Polen einer in ihrer Mitte zur Erde abgeleiteten Säule und prüft dann, ob die Pole gleiche Spannungen besitzen, indem man abwechselnd den einen oder den anderen derselben mit dem Goldblättchen in Verbindung setzt. Die Gleichheit der Spannungen an beiden Polen ist bewiesen, wenn die durch Umlegen des Commutators bei Verbindung beider Pole mit dem Goldblättchen entstehenden Ausschläge dieselbe Grösse erreichen. Hat man die Elemente der Säule möglichst gleichartig ausgewählt, so wird die Ungleichheit der Spannungen in den beiden Hälften gewöhnlich nur gering sein; sollte sie indess wider Erwarten zu gross ausfallen, so schwächt man den stärkeren Pol durch Fortnehmen eines oder einiger Elemente, oder durch Ersetzen eines Zinkkupfer-elementes durch ein schwächeres, z. B. aus Zinn und Kupfer gebildetes Element.

Sind auf diese Weise die beiden Pole der Säule gleich stark gemacht, so würde, falls das Goldblättchen absolut unelektrisch wäre, durch die Verbindung der Pole mit den Scheiben des Elektrometers keine Bewegung des Goldblättchens eintreten können. Es ist zwar die Vertheilung der Elektrizität auf den Scheiben eine andere, wenn sie mit den Polen der Säule in Verbindung stehen, als wenn auf ihnen bloss durch Vertheilung von Seiten des Goldblättchens eine elektrische Schicht erzeugt wird; indess macht bei der Regelmässigkeit der Gestalt der Scheiben und bei der symmetrischen Anordnung aller Theile auf beiden Seiten des Goldblättchens eine gleiche Vertheilungswirkung seitens dieses letzteren auf die Scheiben auch eine gleiche Einwirkung der durch die Pole der Säule gleich stark elektrisirten Scheiben auf das Goldblättchen wahrscheinlich.

Wie schon oben bemerkt, ist nun aber das Goldblättchen infolge der in seiner Ableitung zur Erde liegenden Berührungen heterogener Leiter stets elektrisch; infolge dessen wird daher auch nach Regulirung der Scheibenabstände und der Intensitäten der Säulenpole beim Umlegen des Commutators stets ein kleiner Ausschlag des mit der Erde in Verbindung stehenden Goldblättchens sich zeigen. Ist er hinreichend gering, so lässt man ihn ruhig fortbestehen und zieht seinen Betrag bei jeder Messung in Rechnung; sollte indess seine Grösse unbequem sein, so kann man die betreffende Correction durch eine geringe Aenderung in der Stärke eines der Säulenpole nahe oder vollständig beseitigen. Man braucht nämlich nur denjenigen Säulenpol, welcher mit der im Goldblättchen vorhandenen Spannung gleichnamig ist, angemessen ein wenig zu verstärken, oder, was denselben Erfolg hat, den anderen Pol entsprechend zu schwächen; der stärkere Pol ruft dann durch seine kräftigere Vertheilungswirkung auf dem Goldblättchen eine der ursprünglich in demselben vorhandenen Spannung entgegengesetzte Elektrizität hervor und neutralisirt dadurch jene. Da beide Scheiben gleichweit von dem Goldblättchen abstehen, so hat jede derselben, wenn sie mit

Bei lange gestandenen und stark oxydirten Kupfer- und Zinkelementen entstehen nämlich durch Temperaturschwankungen Aenderungen in den Spannungen der mit den Scheiben verbundenen Pole der Säule. Bleibt die Säule ruhig und ungestört an ihrem Orte, so sind im Sommer bei nicht beträchtlichen Schwankungen der Zimmertemperatur diese Aenderungen wenig erheblich. Im Laufe vieler Wochen verhielten sich z. B. bei meiner Säule, deren Elemente bereits seit geraumer Zeit im Wasser standen, die extremen Werthe der Spannungen wie 0,95:1,06; im Laufe eines Tages liegen unter den bezeichneten Umständen diese Aenderungen zwischen sehr viel engeren Grenzen. Dagegen müssen im Winter bei starken Schwankungen der Zimmertemperatur jene Aenderungen grösser werden; ist z. B. während der Nacht das Zimmer stark erkaltet, und man beobachtet vom Augenblicke des Einheizens an, so kann im Laufe zweier Stunden, wo das Wasser in den Elementen nahe die Temperatur des warmen Zimmers angenommen hat, die Spannung in den Polen der Säule selbst in dem oben angegebenen Verhältnisse von 0,95:1,06 steigen. Nach dem im V. Bande dieser Ab-

dem stärkeren Pole verbunden wird, dasselbe Uebergewicht über die andere mit dem schwächeren Pole verbundene, und erzeugt also dieselbe Vertheilung im Goldblättchen, so dass bei jeder der beiden Lagen des Commutators die ursprüngliche Elektricität des Goldblättchens neutralisirt wird. Es sind freilich jetzt die beiden Spannungen in den Scheiben einander nicht mehr völlig gleich; indess kann das Goldblättchen beim Umliegen des Commutators doch keine Bewegung zeigen, weil es eben in jeder Lage des Commutators selbst keine Elektricität besitzt.

Es gibt noch ein anderes Verfahren, um bei gleichem Abstände und gleichstarker Ladung der Scheiben die infolge der Ableitung des Goldblättchens zur Erde erzeugte Elektricität zu neutralisiren. Dasselbe besteht in der Einschaltung eines galvanischen Elementes von einer jener Elektricität gleichen, aber entgegengesetzten Spannung. Indess können durch unvorsichtiges Schliessen desselben leicht Schwankungen eintreten, weshalb ich das erste Verfahren für bequemer und sicherer halte.

Wenn bei den folgenden Messungen, wo das Elektrometer meistens eine solche Empfindlichkeit hatte, dass ein Element aus Zink, Kupfer und Wasser bei unmittelbarer Verbindung seiner Pole mit dem Goldblättchen einen Ausschlag von $1\frac{1}{2}$ bis $1\frac{1}{2}$ Skalentheile erzeugte, bei directer Ableitung des Goldblättchens zur Erde durch Umliegen des Commutators keine grössere Bewegung des Goldblättchens als von 0,15 Skalentheilen eintrat, so habe ich dieselbe gewöhnlich bestehen lassen und bei jeder Messung in Rechnung gezogen. Uebrigens wird im Verlaufe eines Tages theils durch eintretende geringe Aenderungen in der Stärke der Säulenpole, theils durch schwache Aenderungen in der Lage des Goldblättchens infolge von Veränderungen der Luftströmungen im Inneren des Gehäuses jener Ausschlag etwas wachsen oder abnehmen, weshalb es zweckmässig ist, ihn vor jeder Versuchsreihe von Neuem zu ermitteln.

handlungen S. 428 angegebenen Verfahren erhält man die nöthigen Reductionscoefficienten durch das Verhältniss der Quadratwurzeln aus dem Mittel der Ausschläge, welche bei successiver Verbindung der beiden Pole der Säule mit dem Goldblättchen des Elektrometers beobachtet werden.

Um bei den folgenden Messungen für das Elektrometer einen festen Standpunkt zu gewinnen, war das Instrument auf einem Fensterbrette aufgestellt, während die Volta'sche Säule, deren Pole den Scheiben ihre Spannung mittheilten, sich in einer Ecke des Zimmers befand. Luftzüge und Bestrahlungen durch Sonnenlicht wurden durch Doppelfenster und grosse Papierschirme vom Elektrometer abgehalten; die Säule konnte niemals davon getroffen werden.

Schliesslich sei hier noch bemerkt, dass zur Vermeidung von Vertheilungswirkungen auf das Goldblättchen, die Scheiben und deren Zuleitungsdrähte sowohl das ganze gläserne Gehäuse als auch die vom Commutator nach den Scheiben führenden Drähte durch passende mit der Erde in leitender Verbindung stehende Metallschirme bedeckt oder von denselben eingeschlossen waren; bloss der mit Schellack umkleidete Träger des Goldblättchens ragte oben hervor.

2. Condensatorische Vorrichtungen.

Der Condensator war früher wegen der Unsicherheit seiner Angaben sehr in Verruf; das Nachfolgende wird jedoch zeigen, dass er bei zweckmässiger Einrichtung und Behandlung ein vollkommen sicheres und zuverlässiges Messinstrument werden kann.

Mein zur directen Messung dienender Condensator bestand aus zwei runden horizontalen Metallplatten gewöhnlich von 95^{mm} Durchmesser, deren untere fest lag, während die obere mittelst einer besonderen Vorrichtung der unteren beliebig genähert und bis auf eine gewisse Weite (bis 330^{mm}) wieder von ihr entfernt werden konnte. Die einander zugewandten Seiten der Platten waren möglichst eben geschliffen und weder mit einem Firniss noch mit Siegelacktröpfchen versehen; die isolirende Schicht zwischen ihnen sollte, wie dies auch bereits bei dem letzten von Kohlrausch construirten Condensator*) der

*) Poggendorff's Annal. Bd. 88. S. 464.

Fall war, allein die atmosphärische Luft bilden, weil jeder Firniss zu Ladungen Veranlassung gegeben und vor Allem die Herstellung bestimmter Zustände der Oberfläche gehindert haben würde. Die beiden Flächen jeder Platte waren ferner einander nach Möglichkeit parallel gemacht.

Um für die untere Platte einen sicheren und nöthigenfalls zur Isolirung geeigneten Träger zu gewinnen, wurde ein weiter Glascylinder auf ein mit drei Stellschrauben versehenes Brett gekittet, auf seinem oberen Rande drei $\frac{1}{4}$ Zoll hohe Schellackstäbchen angebracht, und auf dieselben eine Kupferplatte von der zuvor beschriebenen Form gelegt. Da es wünschenswerth war, dass diese Platte auf dem Träger unverrückbar fest sass, so befeuchtete ich vor ihrem Auflegen die Spitzen der drei Schellackstäbchen mit etwas absolutem Alkohol, was ein hinreichendes Ankleben der Platte zur Folge hatte. Durch die Stellschrauben liess sich die obere Fläche der Kupferplatte mittelst einer sehr empfindlichen Wasserwage (1 Theilstrich = 5 Secunden) horizontal stellen. Um durch etwa nöthig werdende seitliche Verschiebungen des ganzen Trägers die Horizontalität der Kupferplatte nicht wieder zu stören, war derselbe auf die horizontale ebene Fläche einer Serpentinplatte gestellt. Uebrigens diente nicht die so eben erwähnte festgeklebte Kupferplatte als untere Condensatorplatte, sondern es wurde auf diese Kupferplatte erst die eigentliche Condensatorplatte gelegt, und falls ihre Flächen nicht genau parallel waren, die obere Fläche jedes Mal mittelst der Wasserwage genau horizontal gerichtet. An der Kupferplatte befand sich ein kleiner Fortsatz, von welchem aus ein Draht die Verbindung mit der Erde oder mit dem Goldblättchen eines Elektrometers vermittelte. Um eine Ladung der Wände des gläsernen Cylinders in den Fällen, wo die untere Platte isolirt sein musste, zu verhindern, wurde die Seitenfläche des Cylinders mit einer Hülle aus Stanniol umgeben, diese Hülle bis nahe unter die untere Fläche der Kupferplatte geschoben und mittelst eines Drahtes zur Erde abgeleitet.

Bei der Bestimmung des elektrischen Verhaltens des Quecksilbers ward unterhalb der oberen Condensatorplatte eine flache eiserne Schale von 96^{mm} Durchmesser aufgestellt und in diese das Quecksilber gegossen.

Sollte die untere Condensatorfläche aber aus Wasser oder einer Salzlösung gebildet werden, so wurde der zuvor beschriebene Träger von der Serpentinplatte entfernt und an seine Stelle eine andere Vor-

richtung gebracht, die aus einem Trichter bestand, dessen Umfang am oberen Rande genau kreisrund und bis zu einem äusseren Durchmesser von 95^{mm} abgeschliffen war. Von dem unteren engeren Theile desselben ging ein zweimal rechtwinklig gebogenes Glasrohr erst seitwärts und dann aufwärts, und trug ungefähr in der Höhe des Randes des Trichters eine etwas weitere Glasröhre. In jenem Trichter befand sich die Flüssigkeit, z. B. das Wasser, deren Spannung gemessen werden sollte, während die zur Ableitung dienenden Metalle in die Flüssigkeit der seitlichen Glasröhre eingetaucht wurden. Der eben geschliffene Rand des Trichters wurde mittelst einer Wasserwage horizontal gestellt und dann der Trichter bis zum Rande gefüllt.

Um die Höhe der Flüssigkeit besser zu erkennen, diente folgende kleine Vorrichtung. Auf den Rand des Trichters wurde eine in ihrer Mitte durchbohrte ebene Glasplatte gelegt; diese Durchbohrung war aber von unten her durch Anlegen einer kleinen ebenen Glasplatte von etwas grösserem Durchmesser als die Oeffnung wieder geschlossen; die obere Fläche dieser kleinen Glasplatte lag folglich genau im Niveau des Trichterrandes. Der Trichter ruhte in einem Holzgestelle; an diesem befand sich ein zwischen Spitzen beweglicher Arm, der an seinem gerade bis über die Mitte des Trichters reichenden Ende eine mit Platinspitze versehene Schraube trug. Der Arm besass ferner einen Anschlag, der ihn in horizontaler Lage über der Glasplatte festhielt. In dieser Lage wurde die Schraube so gestellt, dass ihre Spitze die obere Fläche der kleinen Glasplatte so eben berührte, darauf der Arm zurückgeschlagen, die Glasplatte entfernt, der Arm wieder vorgelegt und endlich der Trichter so weit mit Flüssigkeit gefüllt, bis deren Oberfläche die Spitze erreichte.

Die obere bewegliche Platte der Condensatorvorrichtung bestand aus Kupfer und trug an ihrem Rande drei unter gleichen Winkeln von einander abstehende, 48^{mm} lange Fortsätze, die an ihren Enden in verticaler Richtung durchbohrt waren. In diese Durchbohrungen passten kleine Schrauben, die sich an den unteren Enden dreier 60^{mm} langer, der besseren Isolirung wegen mit Schellack überzogener Glasstäbchen befanden. Von den oberen Enden dieser Glasstäbchen gingen drei dünne, 1,2 Meter lange Kupferdrähte vertical aufwärts nach dem Rande einer starken Zinkplatte; ein Heben und Senken dieser letzteren hatte also die entsprechende Bewegung der Condensatorplatte zur Folge.

Drei von dem Rande der Zinkplatte ausgehende starke Stäbe vereinigten sich in einiger Höhe über ihrem Mittelpunkte in einem Ringe, worin das Ende einer seidenen Schnur befestigt war. Diese Schnur lief zuerst über eine an der Wölbung des Fensters, auf dessen Brett der ganze Apparat stand, angebrachte feste Rolle hinweg, ging dann vertical abwärts, schlug sich unten nahe über dem Fensterbrette nochmals über eine Rolle und wickelte sich zuletzt auf eine grosse neben dem Elektrometer am Fensterbrette festgeschraubte Scheibe oder Rolle auf. Die Axe dieser Scheibe trug eine Kurbel, mittelst deren die Scheibe behufs des Hebens und Senkens der Condensatorplatte umgedreht wurde. Der Umfang der Scheibe war so gross, dass es keiner vollen Umdrehung bedurfte, um die obere Condensatorplatte bis 330^{mm} von der unteren zu entfernen, wenn sie zuvor mit derselben fast in Berührung gewesen war. Sollte die obere Condensatorplatte in einem Abstände von 330^{mm} über der unteren festgehalten werden, so geschah dies durch einen über die Kurbel gelegten Haken; um aber die obere Platte ganz in der Nähe der unteren in eine genau gemessene Entfernung einstellen zu können, diente ein am Umfange der Scheibe angebrachter Stift, der sich gegen eine Schraube legte. Durch Vor- und Zurückdrehen der Schraube erhielt der Stift und dadurch die Scheibe eine so geringe Bewegung, dass sich die obere Condensatorplatte ohne Schwierigkeit in beliebig kleinem Abstände von der unteren festhalten liess.

Um die obere Condensatorplatte der unteren parallel zu stellen, waren in der starken Zinkplatte drei zweckmässig eingerichtete Schrauben angebracht, welche die drei Kupferdrähte trugen, und ohne Torsion zu erzeugen ein geringes Heben und Senken derselben gestatteten. Ein Drehen und Schwanken der Platte beim Auf- und Niedergehen ward dadurch vermieden, dass die drei Kupferdrähte unterhalb der Zinkplatte ($1,1$ Meter oberhalb der unteren Condensatorplatte) durch drei den Durchbohrungen der Fortsätze der Kupferplatte genau entsprechende Oeffnungen in einer starken am Fensterrahmen befestigten Metallplatte hindurchgingen. Diese Metallplatte erhielt ebenso wie die obere Zinkplatte und dadurch auch die an ihr befestigten Kupferdrähte eine metallische Ableitung zur Erde, um jeder Ansammlung von Electricität vorzubeugen. Ausserdem war die zum Heben und Senken dienende Schnur, sowohl in ihrem verticalen als auch im unteren horizontalen Theile nach der Seite des Condensators und Elektrometers hin

mit einem cylinderförmig gebogenen und mit der Erde in leitender Verbindung stehenden Bleche bedeckt.

Zur Messung der Abstände der beiden Condensatorplatten bei ihrer Annäherung diente ein mit Ocularmikrometer versehenes Mikroskop, das vor denselben so aufgestellt war, dass die scharfen Ränder der beiden Platten deutlich auf den Theilstrichen erschienen. Ein Theilstrich des Ocularmikrometers entsprach einem Abstände von $0,094^{\text{mm}}$, also nahe $0,1^{\text{mm}}$. Gewöhnlich wurden die Platten in einem Abstände von 10 Theilstrichen einander gegenübergestellt, und dabei stets dieselben Theilstriche gewählt, was auch bei geringen Aenderungen in der Höhe der unteren Condensatorplatte sich leicht ausführen liess, weil das Mikrometer durch eine Schraube im Ocular verschoben werden konnte. Es wurde absichtlich nur eine schwache Vergrösserung angewandt, um das Mikroskop der Platte nicht zu sehr nähern zu müssen; das Objectiv stand 100^{mm} vom Rande der Platten ab. Da die Einstellung der scharfen Ränder stets auf volle Theilstriche geschah, so war kein Gesamtfehler von $\frac{1}{10}$ Theilstrich möglich; der Abstand der Platten war also stets bis auf $0,01^{\text{mm}}$ genau bekannt.

Um nun die obere Condensatorplatte in continuirlicher Weise mit dem Goldblättchen des Elektrometers zu verbinden, war auf die Mitte jener Platte ein rundes Messingstück gesetzt, das nach oben eine in eine Schraubenklemme endigende cylindrische Verlängerung trug. Andererseits ging von dem Träger des Goldblättchens im Elektrometer ein mässig starker Platindraht horizontal aus, und war in einigem Abstände vom Träger nochmals durch eine auf dem Fensterbrette befestigte isolirende Vorrichtung gestützt. Mit dem nach dem Condensator hingewandten Ende dieses Drahtes war das eine Ende eines sehr dünnen, zu einer lockeren und mässig weiten Spirale gewundenen Platindrahtes verknüpft, während dessen anderes Ende in der zuvor erwähnten Schraubenklemme des auf der Condensatorplatte stehenden Messingstückes fest sass. Diese Spirale musste selbstverständlich eine angemessene Länge erhalten, um die Bewegung der oberen Condensatorplatte nicht zu hindern.

Der Draht in der Nähe des Elektrometers war absichtlich aus Platin gewählt, um stets eine metallische Oberfläche darzubieten, da an ihm die Ableitung des Goldblättchens und der mit ihm zusammenhängenden oberen Condensatorplatte zur Erde erfolgte. Diese Ableitung geschah

aber nicht durch Berührung des Drahtes mit der Hand, sondern durch einen nicht allzudünnen, mit der Erde in ununterbrochener Verbindung stehenden Kupferdraht, der an seinem oberen Ende ein Stück Platindraht trug. Der Kupferdraht war so lang, dass die ihn führende Hand nicht in die Nähe der oberen Verbindungsdrähte und des Condensators kam, sondern fast ganz hinter Schirmen verdeckt blieb. Ward das obere Platinstück dieses Drahtes an den Platindraht des Elektrometers angelegt, so trat eine vollständige Entladung aller dem Goldblättchen auf anderen Wegen als durch die Berührung der heterogenen Leiter in der Ableitung zugeführten Elektrizität ein.

Während Kohlrausch in der oben bereits citirten Abhandlung über seinen Condensator noch bemerkt, dass in demselben infolge des Anschraubens der Platten auf geringe Zeit eine Einwirkung zu Gunsten einer der beiden Elektrizitäten eingetreten, welche die nächsten Messungen beeinträchtigt habe; dass es ferner nach längerem Gebrauche doch nöthig geworden sei, die Oberfläche des Schellacks am Träger mittelst einer durchs Löthrohr angeblasenen Flamme zu säubern: so ist bei meinem Condensator keine dieser störenden Ursachen mehr vorhanden, und lässt sich die Vertauschung der unteren Condensatorplatte, die ja nur auf der oben erwähnten auf den Schellackstäbchen festgekitteten Kupferplatte liegt, gegen eine andere mit grösster Leichtigkeit und ohne alle Uebelstände ausführen.

Die Aufstellung eines Condensators geschah übrigens nicht etwa deshalb, weil mein Elektrometer nicht die hinreichende Empfindlichkeit besessen hätte, sondern ward vielmehr durch gewisse gleich im nächsten Abschnitte mitzutheilende Messungen, welche allein mit seiner Hülfe ausführbar sind, gefordert. Hätte es sich z. B. nur um die Messung der Spannung an den Polen eines aus Zink, Kupfer und Wasser gebildeten Elementes gehandelt, so würde ich durch Annäherung der Scheiben des Elektrometers an das Goldblättchen und durch Vermehrung der Elemente der Volta'schen Säule leicht ohne Condensator vielfach grössere Ausschläge haben erzielen können, als ich sie unter Anwendung des Condensators aus derselben Quelle bei der gewöhnlich benutzten Empfindlichkeit des Elektrometers erhielt. Man muss nämlich beachten, dass die in der oberen Platte bei Annäherung an die untere gebundene, und nach dem Aufwärtsziehen in ihr frei werdende Elektrizität sich über die obere Platte, über das auf ihr befindliche Messingstück, über den

langen dünnen spiralförmig gewundenen und über den dickeren Platindraht, sowie endlich über das Messingstäbchen und das Goldblättchen des Elektrometers verbreitete, was die auf letzterem auftretende Spannung natürlich sehr verminderte. Wenn z. B. die untere Condensatorplatte mit dem einen Pole eines galvanischen Elementes verbunden wurde, dessen anderer Pol zur Erde geführt war, wenn ferner die obere Condensatorplatte, während sie in einem Abstände von 10 Theilstrichen über der unteren schwebte, zur Erde abgeleitet, dann wieder isolirt und um 330^{mm} gehoben wurde: so betrug je nach der Länge und Form der Platinspirale der Ausschlag im Elektrometer nur das $2\frac{1}{2}$ bis 4fache von demjenigen, welcher bei unmittelbarer Verbindung jenes Poles des galvanischen Elementes mit dem Elektrometer entstand.

Aus dem zuletzt Gesagten erhellt, dass das Elektrometer, auch wenn die untere Condensatorplatte stets mit derselben Elektrizitätsquelle in Verbindung steht, doch sehr verschiedene Ausschläge zeigen muss, sobald sich die mit der oberen Condensatorplatte zusammenhängende Leiteroberfläche ändert. Bei vergleichenden Versuchen ist daher sorgfältig darauf zu achten, dass namentlich die Form der Spirale dieselbe bleibt; ist letztere vielleicht durch zufälliges Zerren geändert worden, so bedarf es neuer Versuche über den Condensationscoefficienten, oder überhaupt irgend einer Messung, welche das Verhältniss der früheren Ausschläge zu den späteren kennen lehrt.

Es ist leicht, dadurch dass man die obere Condensatorplatte aus Kupfer und die untere aus Zink wählt, oder dass man den einen Pol eines Elementes aus blankem Zink, Kupfer und Wasser wenige Minuten nach dem Eintauchen der Metalle in die Flüssigkeit mit der unteren Condensatorplatte verbindet, auf einige Zeit eine hinreichend constante Kraft zu erhalten, um zu ermitteln, in welcher Weise die Ausschläge des Elektrometers mit den Abständen der Condensatorplatten sich ändern. In Abständen von 5, 10, 20 u. s. w. Theilstrichen ausgeführte Messungen zeigten, dass diese Ausschläge hinreichend genau den Abständen der Platten umgekehrt proportional genommen werden konnten. Dies Gesetz gestattet die bisweilen bei zu schwachen oder zu starken elektrischen Spannungen in anderen Abständen angestellten Messungen auf den Abstand von 10 Theilstrichen zu reduciren.

Sobald die obere Condensatorplatte im isolirten Zustande von der unteren entfernt wird, beginnt die frei gewordene Elektrizität in die

Luft zu entweichen, wozu namentlich der dünne Draht die Hauptveranlassung bietet. Ist das Elektrometer in gutem Stande und die Luft nicht zu feucht, wie z. B. während des Winters in einer geheizten Stube, so bleibt sich dieser Verlust bei gleicher Spannung sehr nahe gleich, und ist innerhalb der schwachen im Folgenden benutzten Elektricitäten der Grösse der Spannung proportional. Ich habe mich gewöhnt, die erste Beobachtung des Ausschlags sehr nahe 5 Secunden nach dem Aufziehen der Condensatorplatte vorzunehmen; ein Zeitraum, der bei einiger Uebung völlig zur Ausführung der nöthigen Verrichtungen hinreicht. Nach weiteren 15 Secunden bestimme ich dann den Ausschlag zum zweiten Male und vermag daraus den Verlust innerhalb dieser Zeit zu berechnen. Bei einem Ausschlage von 3 Skalentheilen betrug dieser Verlust in 15 Secunden in der Regel 0,45 Skalentheile, so dass er also in 5 Secunden auf 0,15 Skth. stieg. Wenn im Laufe einer Versuchsreihe die äusseren Umstände unverändert blieben und nur die Messungen dieser Reihen unter einander verglichen werden sollten, so wurde übrigens die Correction unnöthig; denn da dieselbe den Intensitäten proportional ging, so waren die Verhältnisse der corrigirten und der nicht corrigirten Werthe dieselben.

Um bei allen Versuchen den Verlust möglichst gleich zu machen, habe ich es vermieden, Messungen mit entgegengesetzten Elektricitäten sehr rasch unmittelbar auf einander folgen zu lassen. So viel als möglich trug ich, falls es die Umstände erforderten, Sorge, vor jeder neuen Messung dem Elektrometer eine Ladung mit derselben Elektricität und bis zu nahe demselben Grade, den ich zu erwarten hatte, zu ertheilen und gerade wie bei einer gewöhnlichen Messung zu verfahren; eine solche vorläufige Ladung und Beobachtung genügte, um nachher auch unter sehr ungünstigen Verhältnissen den gewöhnlichen Verlust zu erzielen.

Es ist allerdings nicht zu leugnen, dass die Verbindung der oberen Condensatorplatte mit dem Goldblättchen des Elektrometers durch den langen dünnen Platindraht sowohl wegen der grossen Capacität, als auch wegen der leicht möglichen Veränderungen in der Gestalt desselben gewisse Uebelstände mit sich führt, und man könnte daran denken, den zuvor beschriebenen Condensator gewissermassen umzukehren, d. h. während bisher die obere bewegliche Platte mit dem Elektrometer verbunden und die untere feststehende zur Erde abgeleitet war, gerade

umgekehrt die untere feststehende mit dem Elektrometer und die obere bewegliche mit dem Erdboden in dauernde Verbindung zu setzen. Handelte es sich, wie im nächsten Abschnitte, bloss um die Ermittlung der elektrischen Differenzen der festen Metalle, so liesse sich allerdings leicht ein Leiter von möglichst geringer Oberfläche herstellen, wenn man unmittelbar auf dem Stäbchen des Elektrometers, welches das Goldblättchen trägt, eine Kupferplatte anbrächte und auf diese die untere Condensatorplatte legte. Um vergleichbare Resultate zu erhalten, würde man indess stets sorgfältig darauf zu achten haben, dass sich beim Auflegen einer neuen Platte die elektrische Capacität des Leiters nicht ändert. Bei Untersuchungen des Verhaltens von Flüssigkeiten könnte jedoch die so eben angedeutete Einrichtung schon nicht mehr unmittelbar angewandt werden; man würde die Flüssigkeit wieder neben dem Elektrometer anbringen und durch einen Draht, der freilich stärker und kürzer sein könnte als der Draht der obigen Platinspirale, mit jenem Instrumente verbinden müssen. Bei der neuen Einrichtung dürfte man endlich mit dem Uebelstande zu kämpfen haben, dass die untere mit dem Elektrometer in Verbindung stehende Platte ganz in der Nähe des Experimentators läge, und nach dem Entfernen der obern Platte sowohl von Seiten der zufällig im Körper des Beobachters erregten, als auch besonders durch die in der Luft des Zimmers vorhandene Elektrizität Vertheilungswirkungen erführe, von denen die letzteren namentlich um so stärker ausfallen würden, je weiter man die obere Platte entfernte.

Alle diese Rücksichten haben mich bewogen, das frühere Verfahren behufs genauer Messungen beizubehalten; was aber nicht hinderte, die neue Einrichtung in gewissen speciellen Fällen z. B. zu einer blossen Vergleichung zweier Platten zu benutzen. Zu letzterem Zwecke liess ich, da ich an dem ersten Apparate keine Aenderungen anbringen mochte, folgende Vorrichtung construiren.

Auf dem einen Ende eines Brettes von 800^{mm} Länge war das oben S. 5 erwähnte Elektrometer *C* fest angeschraubt; der Stift, an welchem das Goldblättchen hing, trug oben je nach dem Bedürfniss eine kleinere oder grössere kreisförmige Scheibe aus etwas starkem Messingblech. Durch diese Scheibe gingen nahe an ihrem Rande von unten her drei Schrauben hindurch, auf deren Spitzen die zu untersuchende Platte gelegt wurde. Auf demselben Brette standen in der Nähe seines anderen Endes ein Paar kleine Säulen von 240^{mm} Höhe, deren jede ein Lager zur Aufnahme

der Axe eines starken eisernen Hebels enthielt. Der eine 350^{mm} lange Arm dieses Hebels trug, wenn er nach der Seite des Elektrometers gewandt war, an seinem unteren Ende gerade über dem Elektrometer eine Scheibe von 96^{mm} Durchmesser mit einem nach unten hervorstehenden Rande. Legte man diesen Arm nach der anderen Seite hinüber, so war die Vertiefung nach oben gewandt; es liess sich in dieselbe bequem eine Metallplatte von 95^{mm} Durchmesser einsetzen und mittelst dreier Schrauben, welche durch das ziemlich starke Messing des Randes hindurch gingen, befestigen. War dieser Arm nach Befestigung der Platte wieder nach dem Elektrometer hinübergelegt, so konnte er mittelst einer Stellschraube, die auf einer 400^{mm} von seinem Ende befindlichen hölzernen Säule sass, in jedem beliebigen Abstände über der auf das Elektrometer gelegten Platte erhalten werden, während man diese letztere selbst mittelst der drei Schrauben, worauf sie lag, der oberen sehr nahe horizontalen Platte parallel zu stellen im Stande war. Um die Umlegung des 350^{mm} langen Hebelarms von der einen Seite nach der andern möglich zu machen, war der andere Arm des Hebels so kurz, dass er zwischen den Säulen, die seine Axe trugen, durchschlug; der leichteren Handhabung wegen befand sich auf ihm eine verschiebbare Bleimasse, welche das Gewicht der anderen Seite nahezu äquilibrirte.

Die Axe des Hebels und somit auch die an ihm befestigte obere Condensatorplatte blieb mit der Erde in steter Verbindung; wurde nun, während die Platten einander nahe gegenüberstanden, auch die untere Platte abgeleitet und dann nach wiederhergestellter Isolirung derselben mittelst des Hebels die obere Platte entfernt, so entstand, falls die einander zugewandten Oberflächen der Platten nicht gleichartig waren, ein Ausschlag.

3. Die Galvanometer.

Zur Messung der galvanischen Ströme dienten gewöhnlich Spiegelgalvanometer von angemessener Empfindlichkeit. Bei sehr grossem Widerstande benutzte ich entweder das in meiner letzten Abhandlung (Bd. VI. dieser Abh. S. 261) beschriebene Galvanometer mit drei Drähten von zusammen 9960 Windungen, oder auch einen von Sauerwald in Berlin gefertigten Multiplicator mit 30000 Windungen, dessen Ausschläge in einem oberhalb aufgestellten Spiegel mittelst eines Fernrohres beobachtet wurden.

II. Verfahren zur Bestimmung der durch die Berührung verschiedener Metalle entstehenden elektromotorischen Kräfte.

Das von mir zur Messung der elektromotorischen Kräfte angewandte Verfahren hat eine gewisse Aehnlichkeit mit den sogenannten Wägungen auf einer Wagschale. Wie hierbei die Belastung der einen Seite dieselbe bleibt, so wurde bei meinen Versuchen die Beschaffenheit der einen Condensatorplatte, und zwar der oberen, niemals geändert. Diese obere aus Kupfer bestehende Platte blieb (mit einer einzigen Ausnahme) unausgesetzt an den drei Kupferdrähten hängen; sie wurde nur vor Beginn einer Versuchsreihe mit einem feinen Haarpinsel auf ihrer unteren Seite überfahren, um möglicherweise daran hängende Fäserchen zu entfernen, während die Reinigung ihrer oberen Fläche mittelst des Pinsels nur selten geschah, um nicht durch zufälliges Anstossen an die Platinspirale eine andere Capacität des Leiters entstehen zu lassen. Der Zustand der unteren Fläche der lange in der Luft gehangenen Kupferplatte durfte wohl als nahe constant betrachtet werden, wie dies auch die späteren Versuche bestätigten; indess habe ich es doch stets vorgezogen, mich auf diese Voraussetzung nicht zu stützen; die Versuche wurden vielmehr stets so angeordnet, dass eine völlige Identität dieser Oberfläche nur für die kurze Zeit von höchstens einigen Stunden, häufig nur von einigen Minuten nöthig war, und dass obenein noch nach Verlauf dieser Zeit die unverändert gebliebene Beschaffenheit jener Oberfläche durch einen speciellen Versuch festgestellt wurde.

Während die obere Condensatorplatte nicht ohne Störung des Apparates gewechselt werden konnte, liess sich dagegen die untere Platte, welche einfach auf die S. 10 erwähnte, auf den Schellackstäbchen fest-sitzende Kupferplatte gelegt wurde, sehr leicht durch eine andere ersetzen, und ebenso war die Horizontalstellung der neuen Platte mittelst der Wasserwage, sowie die Einstellung eines bestimmten Theilstriches des Ocularmikrometers auf ihren oberen Rand schnell und genau ausführbar.

Zum besseren Verständnisse dürfte es beitragen, wenn ich mein Verfahren an einem ganz speciellen Beispiele erläutere.

Gesetzt, es sollte die elektromotorische Kraft oder elektrische Differenz zwischen frisch geputztem Zink und eben solchem Kupfer ermittelt werden: so wurde zunächst die blanke Zinkplatte als untere

Condensatorplatte horizontal und genau unterhalb der oberen kupfernen hingelegt, darauf letztere Platte der Zinkplatte bis auf 10 Theilstriche des Ocularmikrometers genähert und der vom Träger des Goldblättchens ausgehende und mit der oberen Platte in Verbindung stehende Platindraht in der S. 14 beschriebenen Weise abgeleitet; sodann die Ableitung wieder entfernt, nach eingetretener Isolirung die obere Platte bis 330^{mm} emporgehoben, 5 Secunden nach Beginn des Aufziehens der Platte durch Umlegen des Commutators der Ausschlag im Elektrometer beobachtet und endlich zur Bestimmung des Verlustes nach 15 Secunden die Grösse desselben wiederum gemessen. War der Verlust bereits genau bekannt, so konnte die zweite Beobachtung des Ausschlages wegfallen. Auf diesen ersten Versuch folgte durch Niederlassen der Platte u. s. f. ein zweiter, auf diesen ein dritter u. s. w. Die zu einem Versuche nöthige Zeit betrug, wenn die zweite Beobachtung zur Bestimmung des Verlustes ausfiel, ungefähr $\frac{1}{2}$ Minute, während sie durch Hinzufügung derselben um $\frac{1}{4}$ Minute zunahm. In Zwischenzeiten von $\frac{1}{2}$ oder respective $\frac{3}{4}$ Minuten wurden mehrere Beobachtungen ausgeführt und aus denselben das Mittel genommen.

Darauf wurde genau an die Stelle der Zinkplatte die frisch geputzte Kupferplatte als untere Condensatorplatte gebracht, ebenso wie zuvor verfahren und gleichfalls aus mehreren aufeinanderfolgenden Messungen das Mittel gezogen.

Die Differenz zwischen dem Ausschlage, welcher sich zeigte, als die untere Platte aus frischgeputztem Zink bestand, und demjenigen, der nach ihrer Ersetzung durch die frischgeputzte Kupferplatte beobachtet wurde, liefert, wie ich sogleich zeigen werde, ein Maass für die durch die Berührung zwischen diesem Zink und Kupfer entstehende elektromotorische Kraft, oder für die elektrische Differenz der beiden genannten Metalle.

Ich will zunächst annehmen, es bestehe die obere Condensatorplatte aus einer auf ihrer unteren Fläche vollkommen blanken Kupferplatte und die untere aus einer auf ihrer oberen Fläche ebenso vollkommen blanken Zinkplatte. Es seien ferner die beiden Platten mit ihren zugewandten Oberflächen einander bis auf 10 Theilstriche des Ocularmikrometers genähert und in dieser Lage durch Platindrähte (um überhaupt ein drittes Metall zu nennen) zur Erde geleitet, sowie auch durch diese Drähte untereinander metallisch verbunden.

In welchem Zustande die mittelst des Blitzableiters oder der Gasröhren des Hauses mit der Erde zusammenhängenden Platindrähte sich befinden, vermögen wir nicht zu bestimmen; wir dürfen aber durchaus nicht annehmen, dass sie gar keine elektrischen Spannungen haben; jedenfalls indess werden sie auf eine kurze Zeit denselben elektrischen Zustand besitzen. Infolge der Berührung mit ihnen wird das Zink und ebenso das Kupfer in einem gewissen Grade elektrisch.

Denken wir uns die Kupfer- und Zinkplatte zunächst so weit von einander abstehend, dass beide auf einander nicht condensirend wirken, so wird die Zinkplatte eine Spannung erhalten, wie sie der algebraischen Summe aus der elektromotorischen Kraft zwischen Zink und Platin und der bereits im Platin vorhandenen Spannung entspricht. Aehnlich wird das Kupfer eine der Summe der elektrischen Differenz zwischen Kupfer und Platin und der in ersterem bereits vorhandenen Spannung entsprechende Elektrizität annehmen.

Um die durch die Berührung der verschiedenen Metalle entstehenden elektrischen Erregungen kurz bezeichnen zu können, will ich die Metalle durch besondere Zeichen, gewöhnlich die cursiv gedruckten Zeichen der chemischen Aequivalente, andeuten, diese Zeichen unmittelbar nebeneinander stellen und in Klammern einschliessen. Dabei soll noch die Vereinbarung getroffen werden, dass der Werth eines solchen symbolischen Ausdruckes als positiv anzusehen ist, wenn das zuerst stehende Metall in Berührung mit dem zweiten positiv elektrisch wird; als negativ im entgegengesetzten Falle. Kehrt man daher die Reihenfolge der beiden Metalle um, so geht der durch das Symbol bezeichnete Werth der elektrischen Spannung in seinen entgegengesetzten Werth über, also z. B. $(ZnPt) = - (PtZn)$. Ausdrücke, wie $(ZnPt)$ und $(PtCu)$ oder $(CuPt)$, welche ein gemeinschaftliches Element besitzen, können durch Addition, respective Subtraction verbunden werden, um die Spannung $(ZnCu)$ zu erhalten, welchem Vorgange die Gleichungen $((ZnPt) + (PtCu)) = ((ZnPt) - (CuPt)) = (ZnCu)$ entsprechen.

Da wir, wie schon bemerkt, in dem obigen Beispiele nicht wissen, in welchem Zustande sich der zur Erde geführte Platindraht (Pt) befindet, so wollen wir annehmen, wir hätten ihm durch Berührung mit einer Substanz (A) eine Spannung ertheilt, die gleich (PtA) sei und im Laufe der nächsten Versuche unverändert bleibe. Dann hat das durch dieses

Platin abgeleitete Zink die Spannung $(ZnPt) + (PtA)$ und das eben dadurch abgeleitete Kupfer die Spannung $(CuPt) + (PtA)$.

Um von ganz bestimmten Vorstellungen auszugehen, wollen wir annehmen, dass ebenso wie mit der oberen Kupferplatte auch mit der unteren Zinkplatte ein Elektrometer in Verbindung stehe, und dass ferner die Form des Apparates nach beiden Seiten hin vollständig symmetrisch sei, so dass mit der Verwechslung der beiden Metallplatten auch die Ausschläge der beiden Elektrometer sich gegen einander vertauschen würden.

Da beide Seiten des Apparates an den zur Verbindung der Metallplatten mit den Goldblättchen der Elektrometer dienenden Drähten zur Erde abgeleitet sind, so kann die auf jenen Platten vorhandene Spannung nicht zu den Goldblättchen gelangen; diese zeigen bloss die infolge ihrer Ableitung vorhandene Elektrizität. Man sieht aber andererseits auch leicht, dass die Spannung des Goldblättchens auf die Wirkung des Condensators keinen Einfluss zu üben vermag, wovon ich mich übrigens noch durch einen directen Versuch versichert habe, indem ich in die Verbindung des Goldblättchens eines Elektrometers mit der entsprechenden Condensatorplatte ein kleines Element aus Zink, Platin und Wasser einschaltete und die Ableitung zur Erde zwischen dieser Kette und der Condensatorplatte anbrachte; die Spannung der Kette lud bloss das Elektrometer, nicht aber den Condensator, und es war nur nöthig, diesen Ausschlag bei den Messungen mit dem Condensator in Abzug zu bringen, um, abgesehen von der Aenderung in der Capacität des Leiters, dieselben Werthe zu erhalten als bei Ausschluss des Elements. Der Einfachheit wegen wollen wir hiernach, da die Allgemeinheit der Erörterung darunter nicht leidet, die ursprüngliche Spannung auf den Goldblättchen der Elektrometer gleich Null setzen. So lange dann die Ableitungsdrähte an den beiden Verbindungsdrähten liegen, zeigen unter dieser Voraussetzung die Elektrometer durch Umlegen ihrer Commutatoren weder bei entfernten noch bei genäherten Condensatorplatten einen Ausschlag; dagegen ist der elektrische Zustand der Condensatorplatten je nach ihrem gegenseitigen Abstände sehr verschieden.

Gesetzt die untere Fläche der oberen kupfernen Condensatorplatte sei durch ihre Ableitung zur Erde in völlig unelektrischem Zustande, während die obere Fläche der unteren Zinkplatte durch ihre Ableitung eine positiv elektrische Spannung besitze, und zwar betrage die Dicke

der elektrischen Schicht auf einem bestimmten Punkte derselben, während die obere Platte unendlich weit entfernt ist, $(ZnPt) + (PtA)$. Durch die Annäherung der oberen Platte möge die Dicke dieser Schicht auf $m((ZnPt) + (PtA))$ steigen; wo $m > 1$ ist, und zwar um so mehr, je näher die Platten einander kommen. An dem entsprechenden Punkte der oberen Platte wird infolge der blossen Vertheilungswirkung eine entgegengesetzt elektrische Schicht von der Dicke $n((ZnPt) + (PtA))$ hervorgerufen, wo je nach den Abständen $n \geq 1$ sein kann, jedenfalls aber $n < m$ ist.*) Werden nun die beiden Platten isolirt und dann von einander entfernt, so wird das mit der Zinkplatte in Verbindung stehende Elektrometer einen mit $(m-1)((ZnPt) + (PtA))$, und ebenso das untere mit der Kupferplatte verbundene Elektrometer einen entgegengesetzten mit $n((ZnPt) + (PtA))$ proportionalen Ausschlag geben.

Nehmen wir anstatt der Zinkplatte bloss die Kupferplatte als elektrisch an und zwar so stark, dass an dem gewählten Punkte bei Abwesenheit der Zinkplatte eine elektrische Schicht von der Dicke $((CuPt) + (PtA))$ vorhanden sei, so wird nach Annäherung, Isolirung und Entfernung der Zinkplatte in dem mit der Kupferplatte verbundenen Elektrometer ein mit $(m-1)((CuPt) + (PtA))$, und in dem anderen mit der Zinkplatte verbundenen ein entgegengesetzter mit $n((CuPt) + (PtA))$ proportionaler Ausschlag entstehen.

Sind nun, wie es wirklich der Fall ist, beide Platten in der angegebenen Weise elektrisch, so muss das mit der Kupferplatte verbundene Elektrometer einen mit $(m-1)((CuPt) + (PtA)) - n((ZnPt) + (PtA))$, und das andere mit der Zinkplatte verbundene Instrument einen mit $(m-1)((ZnPt) + (PtA)) - n((CuPt) + (PtA))$ proportionalen Ausschlag zeigen. Bezeichnen wir diese Werthe unter Berücksichtigung ihrer Vorzeichen durch $-N$ und $+N'$, so wird

$$-N = (m-1)((CuPt) + (PtA)) - n((ZnPt) + (PtA))$$

$$+N' = (m-1)((ZnPt) + (PtA)) - n((CuPt) + (PtA)).$$

Ziehen wir die erste Gleichung von der zweiten ab, so kommt

$$\begin{aligned} N+N' &= (m-1)((ZnPt) - (CuPt)) + n((ZnPt) - (CuPt)) \\ &= (m+n-1)((ZnPt) - (CuPt)) = (m+n-1)(ZnCu). \end{aligned}$$

*) Obschon die Grössen m und n nicht von einander unabhängig sind, so ist es doch für das Folgende nicht nöthig, ihre Abhängigkeit zu kennen.

Setzen wir an die Stelle des Kupfers Silber, so würden wir aus den Ausschlägen $-M$ und $+M'$ in analoger Weise erhalten

$$(M+M') = (m+n-1)(ZnAg)$$

und entsprechend für die übrigen Metalle.

Die beobachteten Ausschläge würden demnach den elektrischen Spannungen zwischen den zu Condensatorplatten gewählten Metallen proportional sein.

Im Vorstehenden war von den Condensatorplatten aus der gesamte Apparat vollkommen symmetrisch angenommen, eine Anordnung, die sich nicht in allen Fällen herstellen lässt. Wir haben also zu untersuchen, wie die Verhältnisse sich gestalten, wenn eine der beiden Platten mit einem Leiter von grösserer Capacität als die andere verbunden ist. Wird z. B. die Capacität der mit der Zinkplatte zusammenhängenden leitenden Oberfläche, über welche sich die auf ihr condensirt gewesene Elektrizität verbreitet, grösser als die auf der anderen Seite, so muss der Ausschlag auf der Zinkseite entsprechend geringer werden, was wir durch Hinzufügung des Factors $k < 1$ bezeichnen wollen. Es sei jetzt der Ausschlag auf der Zinkseite M , so haben wir

$$\begin{aligned} -N &= (m-1)((CuPt) + (PtA)) - n((ZnPt) + (PtA)) \\ +M &= k(m-1)((ZnPt) + (PtA)) - kn((CuPt) + (PtA)) \end{aligned}$$

Die Differenz beider Gleichungen gibt

$$N+M = (k(m-1) + n)(ZnPt) - (m+kn-1)(CuPt) - (1-k)(m-n-1)(PtA)$$

aus welchem Ausdrucke kein der Spannung $(ZnCu)$ proportionaler Werth gefunden werden kann.

Verwechselte man die beiden Condensatorplatten, setzte also die Zinkplatte an die Stelle der Kupferplatte und umgekehrt, so dass jetzt auf Seiten der Kupferplatte die grössere Oberfläche läge, so würde man für die Ausschläge N_1 und M_1 an den beiden Elektrometern erhalten

$$\begin{aligned} +N_1 &= (m-1)((ZnPt) + (PtA)) - n((CuPt) + (PtA)) \\ -M_1 &= k(m-1)((CuPt) + (PtA)) - kn((ZnPt) + (PtA)) \end{aligned}$$

woraus folgt

$$N_1+M_1 = (m+kn-1)(ZnPt) - (k(m-1) + n)(CuPt) + (1-k)(m-n-1)(PtA)$$

Aus den Gleichungen für $N+M$ und N_1+M_1 ergibt sich

$$\begin{aligned} N+M+N_1+M_1 &= (1+k)(m+n-1)((ZnPt) - (CuPt)) \\ &= (1+k)(m+n-1)(ZnCu) \end{aligned}$$

Die Summe aller dieser Ausschläge ohne Rücksicht auf ihr Vorzeichen würde also in diesem Falle wieder eine der elektrischen Spannung $(ZnCu)$ proportionale Grösse liefern.

Auf dem angegebenen Wege wäre allerdings eine relative Messung der bei Berührung der Metalle entstehenden elektrischen Spannungen möglich; indess wird dabei ein Vertauschen der Platten gegen einander erfordert, was bei dem obigen Apparate nicht möglich war, und wenn es sich um flüssige Oberflächen als Condensatorplatten handelt, überhaupt niemals ausführbar ist. Ich habe daher dem oben S. 19 beschriebenen Verfahren, bei welchem sämtliche Substanzen gegen eine obere unverändert bleibende Condensatorplatte verglichen wurden, auch bei Metallen den Vorzug gegeben: eine leichte Rechnung wird zeigen, dass dasselbe ebenfalls den elektrischen Differenzen der Metalle genau proportionale Werthe liefert.

Da die untere Fläche der lange an der Luft gehangenen oberen Kupferplatte, wenn auch noch glänzend, doch nicht mehr als frisch geputzt betrachtet werden darf, so will ich sie nicht mit (Cu) , sondern mit (K) bezeichnen, und um nicht noch eine Spannung zwischen Kupfer und der unteren oxydirten Fläche schreiben zu müssen, annehmen, die ganze Platte bestehe aus derselben Substanz, wie ihre Oberfläche. Man wird gleich sehen, dass die Natur dieser oberen Platte und ihrer unteren Fläche für das Endresultat völlig gleichgültig ist, wenn nur während der Messungen an der unteren Zink- und Kupferplatte die Beschaffenheit ihrer unteren Fläche constant bleibt.

Es sei zuerst die frisch geputzte Zinkplatte als untere Condensatorplatte hingelegt, so erhalten wir einen Ausschlag $-P$, wobei

$$-P = (m-1)((KPt) + (PtA)) - n((ZnPt) + (PtA)).$$

Wird jetzt die Zinkplatte durch eine frisch geputzte Kupferplatte, die gegen (K) positiv ist, ersetzt, so entsteht wieder ein negativer, aber schwächerer Ausschlag $-p$, wobei

$$-p = (m-1)((KPt) + (PtA)) - n((CuPt) + (PtA)).$$

Ziehen wir nun die erste Gleichung von der zweiten ab, so folgt

$$P-p = n((ZnPt) - (CuPt)) = n(ZnCu)$$

wonach also die Differenz der beiden Ausschläge P und p als ein relatives Maass für die elektromotorische Kraft $(ZnCu)$ betrachtet werden kann, da n für den unveränderten Apparat eine constante Grösse darstellt.

Die vorstehenden Erörterungen gelten natürlich auch in ihrem ganzen Umfange von dem weiter oben S. 18 beschriebenen Apparate. Dieser Apparat hatte, wie schon angedeutet, den Zweck, die Stellung

eines Metalles nicht durch directe Messung, sondern durch Vergleichung mit anderen Metallen, zwischen denen man es einschliesst, annähernd zu bestimmen. Er fand seine Anwendung namentlich in solchen Fällen, wo ich keine ebene Platte besass, sondern mit einer mehr oder weniger wellenförmigen Oberfläche mich begnügen musste. Bei seiner Construction war besonders darauf gesehen, dass die obere in den Hebel eingelegte Condensatorplatte leicht gegen eine andere ausgewechselt werden konnte. Da nun, wie sich aus den späteren Messungen ergeben wird, durch kürzeres oder längeres Aussetzen der Metallplatten an die Luft alle Zwischenstufen zwischen den Endgliedern der sogenannten Spannungsreihe dargestellt werden konnten, so liess sich der Ort eines gegebenen Metalles durch Vergleichung mit zwei Metallplatten, deren Stellung in jener Reihe durch directe Messungen bekannt war, in gewisse Grenzen einschliessen. Die früheren Formeln lehren jedoch, dass selbst wenn die obere Platte der unteren genau gleich ist und das Goldblättchen keine ursprüngliche Spannung besitzt, das Elektrometer doch infolge der Ableitungsverhältnisse noch einen wenn auch nur geringen Ausschlag geben muss; auf diesen ist also bei der Abgleichung oder Einschliessung in gewisse Grenzen Rücksicht zu nehmen.

Zum Schlusse dieses Abschnittes mögen noch einige allgemeine Angaben und Bemerkungen über das Putzen der Metallflächen Platz finden.

Die nachfolgenden Versuche werden darthun, dass die Spannung, welche bei den zuvor beschriebenen Messungen zwischen Kupfer und Zink sich zeigt, gar sehr von der Beschaffenheit dieser Oberflächen abhängt, weshalb es nothwendig wird, stets genau anzugeben, in welchem Zustande die Oberflächen der Platten sich befunden haben, oder welchen Operationen sie zuvor unterworfen worden sind; selbst die edlen Metalle verändern durch blosses Liegen an der Luft die Beschaffenheit ihrer Oberflächen. Ferner werden durch Wasser und andere Flüssigkeiten, auch wenn man die Platten sofort nach dem Benetzen damit wieder abtrocknet, Aenderungen erzeugt, und unter Umständen so schnell, dass ein infolge der blossen Annäherung der Hand eingetretener Beschlag einer Platte, der sofort wieder verschwindet, hinreicht, um merkliche Modificationen hervorzurufen.

Wenn die Platten auf ihrer Oberfläche stark angelaufen oder oxydirt waren, so reinigte ich sie früher zuerst durch Schleifen mittelst eines Baumwollenbausches mit Tripel und Wasser und dann durch

Reiben mit einem sehr feinen Schmirgelpapier. Später liess ich die Behandlung mit Tripel fort, nahm dafür aber ein etwas gröberes Schmirgelpapier, das kräftig griff, und schlif die Platte dann noch mit zwei feineren Sorten. Dabei lag die Platte in einer schwachen Vertiefung, welche auf der oberen Seite eines runden Holzklotzes von nahe gleichem Durchmesser mit der Platte ausgedreht war, deren Tiefe aber die Dicke der Platte noch nicht erreichte; der umgebende Rand war schmal und nach aussen abschüssig, um das Anhäufen des Schmutzes nach Möglichkeit zu vermeiden.

Es ist jedoch selbst mit gutem Schmirgelpapier, auch wenn es oft erneuert wird, nicht leicht eine reine Oberfläche zu erzielen; die Platten zeigen leicht dunkle Flecken und Streifen, welche dadurch entstehen, dass man das vom Schmirgelpapier und von der Platte Abgeriebene so zu sagen in die Oberfläche wieder hineinreibt. Ich benutzte deshalb beim Schleifen der Platten mit dem Papier gleichzeitig ein reines leinenes Handtuch, womit, sobald ich die Oberfläche der Platte ein oder einige Male mit dem Schmirgelpapier überfahren hatte, sofort der darauf liegende und haftende Schmutz entfernt wurde. Dies war besonders zu Ende des Putzens nöthig, wo die Platte so lange mit immer frischen Stellen eines reinen Handtuches ziemlich kräftig gerieben werden musste, bis dasselbe, falls solches überhaupt möglich, völlig rein blieb. Um nicht den seitwärts gestossenen Schmutz mit dem Handtuche wieder auf die Platte zu ziehen, war über den zuvor erwähnten Holzklotz ein zweites reines Handtuch gebreitet; auf dieses wurde die Metallplatte gelegt und in die schwache Vertiefung eingedrückt; auch die Stelle des unteren Tuches musste öfter und namentlich zu Ende des Putzens gewechselt werden. Fürchtet man bei diesen Operationen ein Beschlagen der Platte durch die von der Hand ausgedünstete Feuchtigkeit, so ist letztere mit einem ledernen Handschuh zu bekleiden.

Da manche Platten sehr oft geputzt wurden, so stellte sich die Nothwendigkeit heraus, sie von Zeit zu Zeit wieder eben zu schleifen; dies geschah gewöhnlich durch Aufeinanderschleifen zweier Platten mit feingepulvertem Bimstein und Wasser. Die untere Platte lag dabei in der Vertiefung des oben beschriebenen Holzklotzes, während ein mit gleicher Vertiefung versehenes gegen $\frac{3}{4}$ Zoll dickes rundes Holzstück über die obere Platte gelegt wurde und zu ihrer Bewegung einen bequemen Angriff darbot.

Um alle Störungen zu vermeiden wurde jede Platte vor dem letzten Reinigen auf die Kupferplatte des Trägers gerade unterhalb der oberen Condensatorplatte gelegt und mittelst der Wasserwage horizontal gestellt. Da die Kupferplatte des Trägers mit der darauf gelegten gleiche Grösse hatte und sich genau unter der oberen Condensatorplatte befand, so konnte die als untere Condensatorplatte dienende Platte hinweggenommen und geputzt werden, und man war doch sicher, sie trotz des nicht vollkommenen Parallelismus ihrer Flächen genau wieder in dieselbe Lage wie zuvor gebracht zu haben, wenn man bei ihrem Auflegen auf die Kupferplatte des Trägers die Ränder beider Platten zusammenfallen liess und ausserdem die aufgelegte Platte so drehte, dass zwei zuvor an diesen Rändern angebrachte Marken, ebenso wie bei der vorhergegangenen Nivellirung, über einander fielen; eine Abweichung von der früheren Lage verrieth sich übrigens augenblicklich in dem seitwärts stehenden Mikroskope.

Um die Platten anfassen zu können, ohne mit den Fingern ihrer Oberfläche zu nahe zu kommen, war am Rande ein Fortsatz eingeschraubt; derselbe wurde, sobald die Platte auf den Träger in ihre richtige Stellung gebracht war, entfernt.

III. Maassbestimmungen der durch die Berührung der Metalle entstehenden elektromotorischen Kräfte.

Die Bestimmung der Werthe der elektrischen Spannungen, welche bei der Berührung der Metalle mit Ausschluss aller Flüssigkeiten auftreten, ist nur mittelst der im Vorstehenden beschriebenen condensatorischen Vorrichtungen möglich, und daher selbstverständlich auch nur bei solchen Metallen ausführbar, die sich zu Platten mit geeigneten Oberflächen formen lassen. Es ist mir gelungen, die elektromotorischen Kräfte oder die elektrischen Differenzen der folgenden einfachen Metalle und Legirungen: Aluminium, Zink, amalgamirtes Zink, Zinn, Cadmium, Blei, Antimon, Wismuth, Neusilber, Messing, Quecksilber, gewalztes Eisen, Stahl, Gusseisen, Kupfer, Gold, Palladium, Silber und Platin, so wie der Kohle zu bestimmen, und ich werde die betreffenden Resultate, so wie die Aenderungen, welche die frisch geputzten Oberflächen bei längerem Aussetzen an die Luft erlitten, im Nachfolgenden mittheilen.

A. Einfache Metalle.

1. Zink.

Zum besseren Verständniss wird es beitragen, wenn ich bei diesem ersten Metalle zum Theil die einzelnen Beobachtungsdata selbst anführe.

Die nach der kurz zuvor angegebenen Methode gereinigte Zinkplatte ward auf die Kupferplatte des Trägers gelegt und dann in der S. 19 näher beschriebenen Weise verfahren. Dabei wurden z. B. an einem Tage als Stellungen des Goldblättchens in den beiden Lagen des Commutators, die ich durch *a* und *b* unterscheiden will, bei vier auf einander folgenden Versuchen beobachtet:

Stellung des Goldblättchens in der Lage des Commutators

	<i>a</i>	<i>b</i>
beim 1. Versuche	auf 26,3	auf 21,9
» 2. »	» 26,35	» 21,9
» 3. »	» 26,35	» 21,95
» 4. »	» 26,35	» 21,95

Man erkennt, dass sich die Ruhelage des Goldblättchens im nicht elektrischen Zustande während der drei auf die vorstehenden Beobachtungen verwandten Minuten etwas geändert hat; doch ist eine solche Aenderung auf die Genauigkeit der Messungen, die nur von den Differenzen der Stellungen des Goldblättchens in den beiden entgegengesetzten Lagen des Commutators abhängen, ohne allen Einfluss. Diese Differenzen geben der Reihe nach die Ausschläge:

— 4,40 Skalentheile

— 4,45 »

— 4,40 »

— 4,40 »

woraus das Mittel — 4,41 folgt.

Dieser Werth ist nun noch wegen des ursprünglichen Ausschlags des Goldblättchens bei Ableitung zur Erde, so wie wegen der Abweichung der Spannung in den Säulenpolen von der als normal angenommenen zu corrigiren. Zur Zeit der Beobachtungen betrug jener ursprüngliche Ausschlag + 0,15 Skalentheile, und die Spannung in den Säulenpolen, deren normale Stärke einem Ausschlage von 30,0 Skth. entsprechen sollte, war bis auf 32,2 Skth. gestiegen. Während die ur-

sprüngliche Ladung des Goldblättchens eine Erhöhung des beobachteten Werthes um 0,15 Skth. verlangt, fordert die Reduction auf die normale Spannung der Säulenpole eine Verkleinerung desselben um 0,15 Skth., so dass im vorliegenden speciellen Falle diese beiden Correctionen sich zufällig aufheben. Schliesslich wäre auch noch eine Correction wegen des Elektrizitätsverlustes in der Zeit vom Aufziehen der Platte bis zur Messung des Ausschlags anzubringen. Da jedoch dieser Verlust bei allen Beobachtungen dieses Abschnittes, deren Resultate unter einander verglichen werden, in gleichem Maasse eintrat, d. h. den gemessenen Ausschlägen proportional war, so konnte (vgl. S. 16) von dieser Correction abgesehen werden, da sie auf die relativen Werthe keinen Einfluss äussert.

Es wird nicht ohne Interesse sein, hier die Mittelwerthe mehrerer an verschiedenen Tagen ausgeführter Versuchsreihen namhaft zu machen, um zu zeigen, wie weit es gelingt, den Zustand der Zinkplatte durch Putzen in gleicher Weise herzustellen und überhaupt den gesammten elektrischen Messapparat selbst auf etwas längere Zeit in fast unverändertem Zustande zu erhalten.

Als Mittelwerth wurde an einem Tage gefunden	— 4,42 Skth.
Am folgenden Tage betrug derselbe	— 4,41 »
Eine 19 Tage später ausgeführte Beobachtungsreihe lieferte	— 4,39 »

Der Ausschlag, welchen eine frisch geputzte Zinkplatte gibt, kann jedoch, wie bereits oben S. 15 bemerkt, nur so lange derselbe bleiben, als der Zustand der elektrometrischen Vorrichtung selbst unverändert erhalten wird; die schwache Abnahme vom ersten bis dritten der vorstehenden Werthe dürfte auf eine sehr geringe in jener Vorrichtung (wahrscheinlich in Gestalt und Lage des dünnen Platindrahtes) eingetretene Aenderung hinweisen. Als wenige Tage nach der letzten zuvor angeführten Messung der ganze Apparat, um ihn vom Staube zu reinigen, auseinandergenommen und neu zusammengesetzt wurde, hatte sich, wie vorauszusehen, infolge der veränderten Gestalt der neu geformten Platinspirale die Grösse des Ausschlags beträchtlich geändert.

Als Mittel aus vier Versuchen mit der frisch geputzten	
Zinkplatte erhielt ich jetzt	— 4,93 Skth.
gleich darauf nach abermaligem Putzen als Mittel von	
fünf Beobachtungen	— 4,92 »
nach sechs Stunden, nach erneutem Putzen	— 4,92 »
und nach zwei Tagen nach wiederholtem Putzen	— 4,94 »

Lässt sich auch, wie das Vorstehende zeigt, der Apparat bei sorgfältiger Behandlung längere Zeit in unverändertem Zustande erhalten, so wird es doch nie gerathen sein, längere Zeit aus einander liegende Messungen unmittelbar mit einander zu vergleichen. Die im Nachfolgenden mitgetheilten Werthe waren entweder, und zwar gilt dies von der Mehrzahl, bei einem und demselben Zustande des Apparates, von dessen Vorhandensein ich mich durch specielle Controlversuche (durch Messung der Ausschläge bei frisch geputztem Zink und Kupfer) tatsächlich überzeugt hatte, ausgeführt und konnten daher unmittelbar unter einander verglichen werden; oder sie waren unter etwas veränderten Umständen angestellt worden und bedurften dann, um mit den anderen verglichen zu werden, einer kleinen Correction. Diese Correction liess sich durch öfter wiederholte Messungen der Ausschläge bei frisch geputztem Zink und Kupfer erhalten. Der Kürze wegen werde ich die Einzelheiten dieser Correctionen später nicht anführen, sondern gleich die auf die Umstände, wie sie bei den obigen letzten vier Versuchsreihen statt hatten, reducirten und also mit den übrigen unter diesen Umständen gemachten Beobachtungen unmittelbar vergleichbaren Werthe angeben, indess stets durch den Zusatz (red.) bemerken, dass die betreffende Zahl in der angedeuteten Rücksicht einer kleinen Reduction unterworfen worden ist.

Als allgemeines Mittel aus den letzten vier Mittelwerthen würde sich bei dem damaligen Zustande des Apparates für frisch geputztes Zink ein Ausschlag von $-4,93$ Skth. ergeben.

Bereits oben S. 26 wurde darauf hingewiesen, dass sich die elektrische Beschaffenheit der Metalloberflächen durch das Liegen an der Luft ändert. Wenn eine frisch geputzte Zinkplatte einige Zeit an der Luft liegt, so rückt sie in der sogenannten Spannungsreihe allmählich immer weiter nach dem Kupfer hin. Die Schnelligkeit, mit welcher dies geschieht, ist je nach dem besonderen Zustande der Zinkoberfläche und der Luft des Zimmers, worin die Platte aufbewahrt wird, nicht immer gleich gross. Während eine frisch geputzte Zinkplatte in der oberen Condensatorplatte eine solche Elektrizitätsmenge hervorrief, dass nach dem Aufziehen der letzteren ein Ausschlag von $-4,93$ Skth. entstand, gab die 19 Stunden lang der Luft ausgesetzt gewesene Platte nur einen Ausschlag von $-4,43$ Skth., der nach 4 Tagen auf $-4,33$, und nach länger als zwei Monaten auf $-3,43$ Skth. (red.) herabsank. Es ist sehr

wahrscheinlich, dass durch längeres Liegen an der Luft der Zustand der Zinkplatten sich noch weiter verändert und somit die elektrische Differenz gegen blankes Zink noch mehr gesteigert haben würde. Die absolute Grenze, bis zu welcher diese Aenderung überhaupt gehen kann, würde sich ohne besondere mit der Platte vorzunehmende Operationen nicht wohl bestimmen lassen.

Es dürfte der Mühe lohnen, frisch gereinigte Platten unter Glasglocken der Einwirkung verschiedener Gase, sowie mehr oder weniger dem Sonnenlichte und höheren oder niederen Temperaturen auszusetzen; indess würde die Durchführung einer solchen Untersuchung mich augenblicklich von dem nächsten Ziele, das ich mir gesteckt habe, abziehen und verspare ich dieselbe deshalb auf eine andere Zeit.

2. Kupfer.

Durch ähnliche Hilfsmittel, wie die von mir zur Messung der atmosphärischen Elektricität nach absolutem Maasse angewandten, würde auch eine Reduction der zwischen den verschiedenen Metallen entstehenden elektrischen Spannungen auf absolute Maasse ausführbar sein. Für jetzt habe ich indess vorgezogen, alle im Nachfolgenden mitgetheilten Bestimmungen elektromotorischer Kräfte nur in einem relativen Maasse auszudrücken, nämlich in der Spannung zwischen Zink und Kupfer, einer Einheit, zu deren Wahl mich vorzugsweise praktische Gesichtspunkte bewogen. Wegen dieses Umstandes lasse ich hier gleich auf das Zink das Kupfer folgen, damit ich die beim Contacte der später untersuchten Metalle entstehenden elektrischen Spannungen in jener Einheit auszudrücken vermag.

Nach einem ersten sorgfältigen Putzen gab eine Kupferplatte, welche an die Stelle der im vorigen Abschnitte behandelten Zinkplatte gelegt war, bei gleichem Verfahren einen Ausschlag von $-0,70$ Skth.; nach einem gleich darauf erfolgten zweiten Putzen einen Ausschlag von $-0,72$ Skth. Unter Zugrundelegung des Mittels aus beiden Werthen, $-0,71$ Skth., würde die elektrische Differenz zwischen blankem Zink und Kupfer durch $4,93 - 0,71 = 4,22$ gemessen werden.

Nehmen wir diese Spannung $(Zn\ Cu) = 4,22$ als Einheit, so hätte nach dem Obigen das 19 Stunden an der Luft gelegene Zink gegen blankes Zink eine elektrische Differenz $0,12 (Zn\ Cu)$, und das über zwei

Monate an der Luft gelegene Zink unter gleichen Umständen eine elektrische Differenz von 0,43 (*Zn Cu*) gezeigt.*) Durch längeres Aussetzen an die Luft hat sich also die Oberfläche des Zinks um fast die Hälfte des Intervalles zwischen Zink und Kupfer geändert.

Auch die Oberfläche des Kupfers erleidet beim Liegen an der Luft Veränderungen; ja es scheint dieselbe unter Umständen sogar empfindlicher zu sein, als beim Zink. So ist es mir einmal vorgekommen, dass an einem Abende, wo zur Beleuchtung der Apparate zwei Argand'sche Gasflammen länger als zwei Stunden in einem mässig grossen Zimmer gebrannt hatten, eine frisch geputzte Kupferplatte sich innerhalb weniger Minuten merklich änderte, während eine unmittelbar darauf untersuchte Zinkplatte im gleichen Zeitraume keine merkliche Aenderung zeigte. Selbstverständlich rückt das Kupfer durch Aussetzen an die Luft ebenso wie das Zink nach der negativen Seite der Spannungsreihe hin.

Als die oben erwähnte Kupferplatte 6 Tage an der Luft gelegen hatte, erhielt ich einen Ausschlag von $-0,10$ Skth., was gegen blankes Zink, das von jetzt an stets durch (*Zn*) bezeichnet werden soll, eine elektrische Differenz von 1,14 (*Zn Cu*) gibt. Am folgenden Tage beobachtete ich einen Ausschlag von $-0,05$ Skth., also fast denselben Werth. Als später die Platte von Neuem geputzt worden, fand ich bereits nach 9 Stunden, wo während der letzten zwei Stunden zwei Gaslampen gebrannt hatten, nur noch einen Ausschlag von $-0,20$ Skth. Eine länger als zwei Monate an der Luft gelegene und nur durch einen weichen Pinsel vom Staube gereinigte Platte lieferte einen Ausschlag von $-0,31$ Skth.; doch bin ich nicht im Stande anzugeben, ob diese letztere Platte gerade diejenige gewesen, welche früher nach wenigen Tagen bis $-0,05$ Skth. herabgesunken war. Sollte dies der Fall sein, so wäre die Kupferplatte nach einem Sinken in der Spannungsreihe wieder etwas gestiegen; ein Vorgang, der mit anderen gelegentlichen Beobachtungen am Kupfer in Uebereinstimmung stehen, und sich beim Blei und Silber (vgl. S. 38 u. 45) wiederholen würde.

Ich hielt es für nöthig, auch eine galvanoplastisch niedergeschlagene Kupferplatte zu untersuchen. Eine aus einer grossen Kupferdruckplatte herausgeschnittene und, um ihr die nöthige Steifigkeit zu geben, auf eine

*) Kohlrausch fand die Spannung des blanken Zinks gegen das an der Luft angelaufene und oxydirte zu 0,40 (*Zn Cu*). (Pogg. Ann. Bd. 88. S. 473).

Zinkplatte gelöthete Platte verhielt sich nach dem Putzen den aus gewöhnlichem Kupfer genommenen Platten sehr nahe gleich, doch war sie ein klein wenig negativer als das gewöhnliche Kupfer, so dass die elektrische Differenz zwischen blankem Zink und diesem galvanischen Kupfer 1,01 (*Zn Cu*) betrug; länger als zwei Monate der Luft ausgesetzt, gab die galvanoplastisch erzeugte Platte einen Ausschlag von $-0,15$ Skth., was gegen (*Zn*) einer elektrischen Differenz $= 1,13$ (*Zn Cu*) entspricht.

3. Aluminium.

Als im Jahre 1848 Poggendorff*) ein von Wöhler dargestelltes compactes Stück Aluminium mit anderen Metallen, um seine Stelle in der Spannungsreihe zu bestimmen, in sehr verdünnte Schwefelsäure tauchte, fand er es positiver als Platin, Silber, Kupfer, Wismuth, Antimon und Nickel, dagegen negativer als Blei, Zinn, Eisen, Cadmium und Zink, und schloss damals seine Mittheilung dieser Versuche mit den Worten, dass nach diesem Resultate das Aluminium ein ziemlich negatives Metall sei. Auch die 1855 von Wheatstone**) und zum Theil auch die 1857 von Buff***) über galvanische Ketten aus Aluminium und anderen Metallen mit verschiedenen Flüssigkeiten angestellten Versuche könnten als eine Bestätigung des Schlusssatzes in Poggendorff's Notiz erscheinen. Indess machten es mir Beobachtungen über eine Kette aus Aluminium, Kupfer und destillirtem Wasser sehr wahrscheinlich, dass das Aluminium keineswegs ein ziemlich negatives Metall sein könne, dass es vielmehr positiver als Zink und Zinn sein müsse, und die zuvor erwähnten Beobachtungen in den Einwirkungen der Flüssigkeiten auf das Metall ihre Begründung finden dürften.

Da es zur unzweifelhaften Bestimmung der Stellung eines Metalles in der Spannungsreihe nur ein Mittel gibt, nämlich das zuvor auf Zink und Kupfer angewandte Verfahren unter Ausschluss jeder Flüssigkeit, so verschaffte ich mir aus der Aluminiumfabrik in Amfreville eine hinreichend grosse und dicke Aluminiumplatte, so dass ich aus ihr eine den vorhergehenden Kupfer- und Zinkplatten ähnliche Condensatorplatte von 95^{mm} Durchmesser und $4,5^{\text{mm}}$ Dicke fertigen konnte. Die angewandte Aluminiumplatte war von der reinsten Sorte und enthielt nach einer im che-

*) Pogg. Ann. Bd. 73. S. 619.

**) Proc. of Roy. Soc. VII, 369.

***) Annal. der Chem. u. Pharm. Bd. 102. S. 265 ff.

mischen Laboratorium von Hrn. Dr. Stadler ausgeführten Analyse nur etwas Eisen und Kieselsäure. Beim Uebergiessen mit Salzsäure entwickelte das Aluminium einen übelriechenden, auf Kohle deutenden Wasserstoff. Die Platte war gewalzt und lieferte beim Abdrehen und Schleifen eine sehr vollkommene ebene Fläche. Dagegen hatte das Putzen derselben grosse Schwierigkeit: man reibt bei der Weichheit des Metalles gar zu leicht das Schmirgelpulver in die Platte; man darf mit dem Schmirgelpapier nicht stark aufdrücken, und muss zuletzt anhaltend mit einem etwas harten Handtuche reiben, das anfangs beträchtlich geschwärzt wird, später aber nur schwache Spuren des abgeriebenen Metalles zeigt.

An dem ersten Tage, wo die oben mitgetheilten Messungen von Zink und Kupfer ausgeführt wurden, hatte ich die Aluminiumplatte mit Bimstein und Wasser auf einer Zinkplatte neu abgeschliffen. Nach darauf erfolgtem sorgfältigen Putzen erhielt ich gegen die obere Kupferplatte einen Ausschlag von $-5,27$ Skth.; ein wiederholtes Putzen lieferte $-5,26$ Skth. Hiernach ist das Aluminium gegen (*Zn*) unzweifelhaft positiv, und die elektrische Differenz beider würde $0,08$ (*Zn Cu*) betragen. Indess wusste ich durch frühere Messungen bereits, dass diese Differenz bei reinerer Oberfläche der Aluminiumplatte noch höher steigen kann. Ich begann daher nach zwei Tagen die Messungen von Neuem; durch das zweitägige Liegen an der Luft hatte sich die Aluminiumplatte so geändert, dass sie nur noch einen Ausschlag von $-4,52$ Skth. gab, wonach sie also gegen (*Zn*) negativ sein und mit ihm eine Spannung $0,10$ (*Zn Cu*) erzeugen würde. Durch sorgfältiges Putzen stieg die Platte jetzt in der Spannungsreihe so weit, dass gegen die obere Kupferplatte unmittelbar nach einander folgende Ausschläge gemessen wurden:

$-5,97$ Skth.

$-5,86$ »

$-5,86$ »

$-5,81$ »

Nach Verlauf von weiteren zwei Minuten war der Ausschlag gesunken auf $-5,67$ Skth.

und nach neuen zwei Minuten auf

$-5,52$ Skth.

Durch blosses Abreiben mit einem Handtuche verminderte sich derselbe noch weiter bis $-5,37$ Skth.

Aus diesen Beobachtungen folgt eine grosse Veränderlichkeit des Aluminiums an der Luft. Aus der ersten Messung — 5,97 Skth. ergibt sich die elektrische Differenz zwischen Aluminium und (Zn) zu 0,25 (Zn Cu). In früheren hier nicht mitgetheilten Versuchen war es mir auch bereits gelungen, eine Differenz von 0,22 (Zn Cu) zu beobachten. Ich glaube nicht, dass die Zahl 0,25 (Zn Cu) schon die ganze Höhe der Differenz bei blanken Metallen darstellt; denn erstens war die Platte selbst nach dem letzten sorgfältigen Putzen durchaus nicht überall gleich stark glänzend, und zweitens wird sich dieselbe in der Zeit zwischen dem Putzen und der ersten Messung, ja selbst während des Abreibens mit dem Tuche bereits etwas geändert haben. Ich gebe daher die Zahl 0,25 (Zn Cu) nur als eine untere Grenze; aus ihr folgt aber im Gegensatze zu den scheinbaren Folgerungen der früheren Beobachtungen, dass das Aluminium ein sehr positives Metall ist und in der Spannungsreihe noch um ein Viertel des Intervalles zwischen Zink und Kupfer oberhalb des Zinks steht.

Als die Platte vier Tage an der Luft gelegen hatte, gab sie gegen die obere Condensatorplatte nur noch eine Spannung von — 3,44 Skth., was einer elektrischen Differenz gegen (Zn) gleich 0,35 (Zn Cu) entspricht, aber in dem Sinne, dass jetzt (Zn) gegen das an der Luft gelegene Aluminium positiv war. Die Aluminiumplatte war unmittelbar nach einer Zinkplatte geputzt worden, hatte stets neben letzterer gelegen und war also genau denselben Einflüssen ausgesetzt gewesen; nach jenen vier Tagen betrug der Ausschlag dieser Zinkplatte noch — 4,33 Skth. Hieraus folgt die elektrische Differenz der gleichzeitig der Luft ausgesetzt gewesenen Zink- und Aluminiumplatte 0,24 (Zn Cu). Blankes Aluminium gibt gegen vier Tage an der Luft gelegenes Aluminium die Spannung 0,60 (Zn Cu). Nachdem die Platte länger als zwei Monate der Luft ausgesetzt gewesen, erhielt ich nur noch einen Ausschlag von — 2,40 Skth. (red.), woraus eine elektrische Differenz gegen blankes Zink = 0,60 (Zn Cu) und gegen blankes Aluminium = 0,85 (Zn Cu) folgt. Innerhalb vier Tagen hat also das Aluminium seinen Ort in der Spannungsreihe um fast $\frac{2}{3}$, und innerhalb zweier Monate um mehr als $\frac{2}{3}$ des Intervalles zwischen Zink und Kupfer geändert.

4. Zinn.

Eine gegossene Platte von englischem Zinn wurde, um ihr die nöthige Steifigkeit zu geben, auf eine Zinkplatte gelöthet; ihre geschliffene Oberfläche war nicht ganz untadelhaft, sondern zeigte einige sehr

kleine Grübchen, deren Gesamtwirkung übrigens die nachfolgend angeführten Resultate nicht merklich zu stören vermochte.

Als Mittel aus einer ersten Versuchsreihe ergab sich ein Ausschlag von $-3,94$ Skth., aus einer zweiten ein Ausschlag von $-3,96$ Skth. Das Mittel aus beiden Werthen $-3,95$ Skth. führt zu einer elektrischen Differenz zwischen (*Zn*) und Zinn $= 0,23$ (*Zn Cu*).

Die 7 Tage an der Luft gelegene Platte gab nur noch einen Ausschlag von $-3,38$ Skth., was einer elektrischen Differenz zwischen (*Zn*) und dieser Zinnplatte $= 0,36$ (*Zn Cu*) entspricht. Nachdem die Zinnplatte länger als zwei Monate der Luft ausgesetzt gewesen und wahrscheinlich durch etwas Chlorzink, das von der gelötheten Fläche durch eine poröse Stelle nach der Oberfläche gedrungen, an einer Stelle nahe am Rande etwas schwärzlich gefärbt war, sank der Ausschlag auf $-2,92$ Skth. (red.); in diesem Zustande würde die Platte mit (*Zn*) eine Spannung $= 0,48$ (*Zn Cu*) dargeboten haben.

5. *Kadmium.*

Als eine Platte käuflichen Kadmiums als untere Condensatorplatte benutzt wurde, erhielt ich als Mittel aus einer ersten Versuchsreihe $-3,57$ Skth., und als Mittel aus einer zweiten $-3,54$ Skth.; das Mittel aus beiden Reihen ist $-3,55$ Skth.

Leider war die Kadmiumplatte etwas zu klein gegossen; ihr Durchmesser erreichte nur $93,3^{\text{mm}}$, während, wie schon oben bemerkt, der Durchmesser der übrigen Platten 95^{mm} betrug. Ich liess deshalb eine Zinkplatte ebenfalls bis zu einem Durchmesser von $93,3^{\text{mm}}$ abdrehen, und legte dieselbe genau so auf den Träger für die untere Condensatorplatte, wie zuvor die Kadmiumplatte gelegen hatte. Diese Zinkplatte zeigte im Mittel aus zwei Versuchsreihen, welche $-4,51$ Skth. und $-4,48$ Skth. gaben, einen Ausschlag von $-4,49$ Skth. Um also die für die Kadmiumplatte gefundene Zahl mit den für die übrigen Metalle erhaltenen vergleichbar zu machen, musste der beobachtete Ausschlag von $-3,55$ Skth. im Verhältniss von $4,49:4,93$ erhöht werden. Der auf diese Weise berechnete Ausschlag von $-3,90$ Skth. weist eine elektrische Differenz zwischen (*Zn*) und Kadmium $= 0,24$ (*Zn Cu*) nach.

Nach siebentägigem Aussetzen an die Luft hatte der Ausschlag bis $-3,38$ Skth. (red.), und nach länger als zweimonatlichem Liegen, wodurch

die Platte ein ziemlich dunkles Aussehen erhalten, bis $-2,32$ Skth. (red.) abgenommen; der erstere Zustand entspricht einer elektrischen Differenz gegen (Zn) im Betrage von $0,36$ (Zn Cu) und der letztere im Betrage von $0,61$ (Zn Cu).

6. Blei.

Obgleich ich bei der leichten Oxydirbarkeit des Bleis mit sehr geringen Hoffnungen auf brauchbare Resultate an die Bestimmung der Stellung des Bleis in der Spannungsreihe ging, da zwischen dem Putzen und der Messung seiner elektrischen Differenz gegen die obere Kupferplatte stets einige Zeit verfließen musste: so scheinen doch die Versuche selbst darzuthun, dass der erzielte Werth nicht so ungenau sein kann, als ich fürchtete.

Als die auf eine Zinkplatte gelöthete Bleiplatte sorgfältig geputzt war, erhielt ich in einer ersten Versuchsreihe als Mittel der beobachteten Ausschläge $-3,09$ Skth.; eine zweite Reihe nach erneutem Putzen gab den Mittelwerth $-3,07$ Skth. Zehn Minuten nach dem Putzen betrug der Ausschlag noch $-2,95$ Skth., hatte sich also nur wenig geändert. Die gleich grosse elektrische Spannung nach zwei verschiedenen Reinigungen, sowie die langsame Abnahme derselben dürften es nicht unwahrscheinlich machen, dass die obigen Spannungen von einer ziemlich reinen Bleifläche herrühren. Das Mittel aus den vorstehend genannten beiden Werthen $-3,08$ Skth. entspricht einer elektrischen Differenz gegen (Zn) gleich $0,44$ (Zn Cu).

Die vier Tage der Luft ausgesetzte Platte gab einen Ausschlag von $-2,18$ Skth.; nach mehreren Wochen, während deren Verlauf die Oberfläche sich stark blau und gelblich gefärbt hatte, betrug derselbe $-2,42$ Skth., und nach länger als zwei Monaten, wo die Platte sehr dunkel aussah, $-2,88$ Skth. (red.) Den drei letzten Ausschlägen entsprechen der Reihe nach die elektrischen Differenzen gegen Zink: $0,65$ (Zn Cu), $0,59$ (Zn Cu), $0,49$ (Zn Cu). Es tritt also hier der eigenthümliche Fall ein, dass eine der Einwirkung der Luft preisgegebene Metallplatte erst ihren Ort in der Spannungsreihe in der Weise ändert, dass sie nach der negativen Seite hinrückt, später aber umkehrt und fast die ursprüngliche Stellung wieder erreicht. Eine Erklärung dieses eigenthümlichen Vorganges dürfte dadurch gegeben sein, dass das Blei anfangs oxydirt, und dann später das Oxyd in Schwefelblei verwandelt wird. Diese Ansicht erscheint um

so annehmbarer, als der Schwefelwasserstoff weniger leicht das Metall als das Oxyd in Schwefelmetall verwandelt; eine strenge Prüfung derselben liesse sich übrigens, falls es nöthig wäre, auf experimentellem Wege in mehrfacher Weise liefern. Ich erinnere noch daran, dass wahrscheinlich eine ähnliche Ortsveränderung (s. S. 33), wenn auch in geringerem Maasse, beim Kupfer eintritt, und dass wir ebendieselbe Erscheinung später S. 45 beim Silber wieder antreffen werden.

7. Antimon.

Aus Antimon, das durch Schmelzen mit Salpeter gereinigt war, wurde eine Platte gegossen und bis zu einem Durchmesser von 95^{mm} abgedreht; ihre polirte Fläche zeigte zahlreiche äusserst feine dunkle Pünktchen.

Aus den Mittelwerthen dreier Versuchsreihen von $-1,97$, $-2,05$, $-1,99$ Skth. ergibt sich das allgemeine Mittel $-2,00$ Skth., dem eine elektrische Differenz gegen Zink $= 0,69$ (*Zn Cu*) entspricht.

Als die Platte 7 Tage an der Luft gelegen hatte, betrug das Mittel der beobachteten Ausschläge $-1,65$ Skth., und nach länger als zwei Monaten $-1,25$ Skth. (red.), woraus sich die elektrische Differenz gegen (*Zn*) respective zu $0,78$ (*Zn Cu*) und $0,87$ (*Zn Cu*) ergibt.

8. Wismuth.

Eine Platte von käuflichem Wismuth bot als Mittel einer Versuchsreihe einen Ausschlag von $-1,87$ Skth., und als Mittel einer zweiten einen Ausschlag von $-1,94$ Skth. dar; aus dem Mittel dieser beiden Werthe $-1,89$ Skth. folgt gegen (*Zn*) eine elektrische Differenz $0,72$ (*Zn Cu*).

Achtzehn Stunden nach der zweiten Versuchsreihe, während welcher Zeit die Platte frei an der Luft gelegen, betrug dieser Ausschlag noch $-1,87$ Skth., hatte sich also nur wenig verringert; nach 2 Tagen war er bis $-1,42$ Skth., nach 5 Tagen bis $-1,12$ Skth., und nach länger als zwei Monaten bis $-0,98$ Skth. (red.) gesunken. Diesen vier Ausschlägen entsprechen der Reihe nach die elektrischen Differenzen gegen Zink: $0,73$ (*Zn Cu*), $0,84$ (*Zn Cu*), $0,90$ (*Zn Cu*) und $0,94$ (*Zn Cu*).

9. Quecksilber.

Da ich die leichte Veränderlichkeit der Quecksilberoberfläche fürchtete, so wurde die schon S. 10 erwähnte eiserne Schale auf eine grössere Holzscheibe gekittet, die am Rande eine kreisförmige Rinne zur Aufnahme des über den Rand der Schale geworfenen Quecksilbers besass. Das Quecksilber hatte längere Zeit unter einer Sublimatlösung gestanden, war dann von derselben getrennt und nach mehrmaligem Filtriren durch einen Papiertrichter in einer hölzernen verschlossenen Büchse ebenfalls wieder längere Zeit aufbewahrt worden. Bei Anfüllung der Schale floss das flüssige Metall aus der Büchse durch einen am Boden befindlichen Hahn ab. Um behufs der Messung eine möglichst reine Oberfläche zu erzielen, wurde die obere Schicht des über den Rand der Eisenschale hervorragenden Quecksilbers durch Abstreichen mit der geradlinigen Kante eines steifen Papieres zur Seite geschoben, in die untere Holzrinne geworfen, und unmittelbar darauf die Grösse der Spannung beobachtet.

Die Bestimmung der Stellung des Quecksilbers in der sogenannten Spannungsreihe kann nicht auf dieselbe Genauigkeit, wie die übrigen Messungen Anspruch machen, indem sich die Oberfläche wegen ihrer convexen Gestalt am Rande nicht scharf auf die Theilstriche des Ocularmikrometers einstellen liess und ausserdem die untere Condensatorfläche (die Quecksilberoberfläche) etwas grösser war als sonst.

Wie ich vorausgesehen, zeigte sich in der That die Oberfläche des Quecksilbers sehr veränderlich, selbst wenn es so rein war, dass nach 24stündigem Stehen die Oberfläche noch ebenso blank erschien als nach dem Einfüllen. Wurde Quecksilber in die eiserne Schale gegossen und unmittelbar nach dem Abstreichen der Oberfläche die Messung vorgenommen, so erhielt ich Ausschläge, die von $-1,3$ bis $-1,5$ Skth. (red.) schwankten; die Schwankung rührte theils von Aenderungen in der Oberflächenbeschaffenheit des Quecksilbers, theils von ungenauer Einstellung des Abstandes der Condensatorflächen her. Da mit der Zeit der negative Ausschlag sich verringerte, so dürfte man wohl $-1,5$ Skth. (red.) als den wahrscheinlicheren Werth betrachten. Aus ihm würde sich eine elektrische Differenz zwischen Zink und Quecksilber $= 0,81$ ($Zn\ Cu$) ergeben, das Quecksilber also in die Nähe des Eisens zu stehen kommen.

Sehr bald jedoch nahm der anfängliche Ausschlag ab, so dass er nach 5 Minuten nur $-1,0$, nach weiteren 7 Minuten nur noch $-0,9$ Skth.

betrug, nach 2 Stunden sogar in $+0,4$, und nach weiteren 5 Stunden in $+0,9$ Skth. übergegangen war. Unmittelbar nach Ablesung des letzten positiven Ausschlages wurde die Haut von der Oberfläche abgestrichen, und sofort ein Ausschlag von $-1,2$ Skth. beobachtet. Der positive Ausschlag von $+0,9$ Skth. würde eine Spannung der längere Zeit an der Luft gestandenen Quecksilberoberfläche gegen (Zn) im Betrage von $1,40$ (Zn Cu) liefern.

Die vorstehenden Versuche wurden erst nach Durchführung fast aller übrigen ausgeführt, um nicht möglicherweise den Zustand der unteren Fläche der oberen kupfernen Condensatorplatte zu stören, auf welcher sich, wenn sie dicht über der Quecksilberoberfläche schwebte, leicht Quecksilberdämpfe niederschlagen konnten.

10. Eisen.

Es hat viele Mühe gekostet, eine tadelfreie Eisenplatte darzustellen; alle Platten, die ich hatte schmieden lassen, zeigten nach dem Abdrehen mehr oder weniger beträchtliche Grübchen. Zuletzt gelang es, eine schöne Oberfläche zu erzielen, als eine Platte von sehr gutem Weissblech auf eine andere geschmiedete Eisenplatte aufgelöthet und die freie Seite des Bleches vom Zinn möglichst sorgfältig gereinigt wurde.

Eine erste Reihe von Messungen gab einen Ausschlag von $-1,52$ Skth. und eine zweite einen Ausschlag von $-1,50$ Skth.; aus dem Mittel geht für die elektrische Differenz dieses Eisens gegen (Zn) der Werth $0,81$ (Zn Cu) hervor.

Obwohl, wie erwähnt, die Oberfläche der Platte durch Abschleifen möglichst sorgfältig von anhängendem Zinn gereinigt worden, konnte doch der Verdacht nicht zurückgewiesen werden, dass möglicherweise das Zinn, wenn auch nur in geringem Maasse, in das Eisen eingedrungen sei und mit ihm sich chemisch verbunden habe. Ich schabte deshalb von der Oberfläche der bereits zu den vorstehenden Messungen benutzten Platte eine kleine Menge ab, und in der That ergab die chemische Untersuchung in dieser Masse Spuren von Zinn. Die Platte hatte durch dieses Abschaben ziemlich starke Vertiefungen erhalten; ich liess sie bis zur Herstellung einer vollkommen ebenen Oberfläche von Neuem abschleifen und durfte hoffen, durch diese Operation die noch zinnhaltigen Schichten beseitigt zu haben.

Als die Platte jetzt von Neuem auf ihr elektrisches Verhalten untersucht wurde, zeigte sie sich in der That dem Kupfer ein wenig näher stehend. Sie erzeugte im Mittel aus zwei Versuchsreihen einen Ausschlag von $-1,44$ Skth., während die Zinkplatte einen solchen von $-5,56$ und die Kupferplatte von $-0,67$ Skth. gab.*) Hieraus folgt eine elektrische Differenz gegen (Zn) im Betrage von $0,84$ (Zn Cu).

Der Sicherheit wegen liess ich noch die untere Seite der dicken geschmiedeten Platte, auf deren obere Seite jene Weissblechplatte aufgelöthet worden, eben schleifen; sie zeigte mehrere kleine Vertiefungen. Bei der Messung erhielt ich einen mit dem vorstehend genannten sehr nahe übereinstimmenden Ausschlag von $-1,50$ Skth.

Nachdem die Platte nach den ersten Messungen 7 Tage der Luft ausgesetzt gewesen war, hatte der Ausschlag bis auf $-0,72$ Skth. abgenommen; nach länger als zwei Monaten fand ich ihn sogar nur $-0,37$ Skth. (red.), wobei jedoch die Oberfläche durchaus keine Rostflecken zeigte. Die beiden letzten Ausschläge liefern für die elektrische Differenz gegen (Zn) respective $1,00$ (Zn Cu) und $1,08$ (Zn Cu).

Weiterhin werden auch Messungen über die Stellung von Stahl und Gusseisen in der Spannungsreihe mitgetheilt werden; aus ihnen folgt, dass Beimengungen von Kohle das Eisen negativer machen. Da das obige Eisenblech auch nicht absolut frei von Kohle gewesen sein wird, so müsste eigentlich der obige Werth $0,84$ (Zn Cu) nur als ein Grenzwert angesehen werden, oberhalb dessen (unter der Voraussetzung, dass auch bereits geringe Mengen Kohle das Eisen nach der negativen Seite verschieben) der Werth des reinen Eisens liegen würde; indess dürfte die Abweichung des wahren Werthes von dem eben aufgestellten wahrscheinlich nicht erheblich sein.

11. Gold.

Ich liess zunächst eine Kupferplatte auf galvanischem Wege etwas stark vergolden, so dass sie einiges Reiben mit Schmirgelpapier aushielt, ohne dass das Kupfer sichtbar ward. Leider wurden die ersten Messungen im Winter bei Gaslicht dadurch sehr gestört, dass die Oberfläche dieser Platte nach dem Putzen ihre Beschaffenheit sehr schnell

*) Der elektrische Messapparat war einige Zeit zuvor ganz aus einander genommen, gereinigt und dabei auch die obere Kupferplatte geputzt worden.

änderte, ähnlich wie beim Kupfer (S. 33), und sicherlich musste diese schnelle Aenderung ebenfalls den durch mehrstündiges Brennen einer oder zweier Gasflammen in der Luft des Zimmers verbreiteten Gasen zugeschrieben werden, denn bei einem früheren vorläufigen Versuche, wo kein Gas gebrannt hatte, hielt sich der Zustand selbst bis zum andern Tage nahe constant.

Der grösste Ausschlag, den die frisch geputzte Goldplatte gab, war $-0,65$ Skth.; er sank in $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Minuten auf $-0,50$ Skth., in einer neuen halben Minute auf $-0,40$, und nach 10 Minuten betrug er nur noch $-0,20$ Skth. Der erste Ausschlag entspricht einer elektrischen Differenz gegen (Zn) im Betrage von $1,01$ (Zn Cu), und der letzte einer solchen Differenz von der Grösse $1,12$ (Zn Cu).

Nach Verlauf eines halben Jahres liess ich die Platte nochmals galvanisch vergolden. Um etwaige Spuren von Kupfer, die sich aus der bereits länger gebrauchten Flüssigkeit niedergeschlagen haben könnten, von der äussern Oberfläche hinwegzunehmen, übergoss ich die eine Seite der Platte zwei Mal mit der stärksten rauchenden Salpetersäure, und liess dieselbe das erste Mal eine und das zweite Mal zwei Minuten darauf stehen. Die Farbe der Platte wurde dadurch etwas dunkler. Nach dem Putzen zeigte sich indess die mit Salpetersäure behandelte Seite der andern davon unberührt gebliebenen ganz gleich; sie gaben in dem neu gereinigten Messapparate einen Ausschlag von $-0,64$ Skth., während die Kupferplatte einen solchen von $-0,63$ Skth. erzeugte. Hiernach würde also das Gold mit dem Kupfer dieselbe Stelle in der Spannungsreihe einnehmen, und gegen Zink eine elektrische Differenz $= 1,00$ (Zn Cu) zeigen. Bei den jetzigen Versuchen hielt sich der Zustand der Platte längere Zeit constant, so dass während der Messungen selbst keine Aenderung zu bemerken war; es hatte aber auch seit mehreren Tagen kein Gas im Zimmer gebrannt. Als die Platte 5 Tage der Luft ausgesetzt gewesen war, zeigte sie gegen (Zn) eine Spannung $= 1,19$ (Zn Cu)*),

*) Kohlrausch gibt für (Zn Au) den Werth $1,15$ (Zn Cu); als Goldplatte diente eine (chemisch rein) vergoldete Messingplatte. Pogg. Ann. Bd. 82. S. 15 und Bd. 88. S. 472. Kohlrausch erwähnt nicht, dass er die Goldplatte frisch geputzt habe; es scheint vielmehr ein Abreiben derselben nicht stattgefunden zu haben, denn er sagt an dem letzten Orte nur: »Das Gold wurde in den andern Condensator gebracht und einer Zinktafel gegenüber gestellt, welche erst kürzlich gereinigt worden war.« Wäre das Gold nicht geputzt worden, so dürfte der Grund des Unterschiedes zwischen den von Kohlrausch und von mir erhaltenen Werthen offen vorliegen.

während diese Spannung unmittelbar darauf nach neuem Putzen der Oberfläche wieder $= 1,00$ (*Zn Cu*) wurde. Nach mehreren Tagen gab die an der Luft gelegene Goldplatte gegen (*Zn*) sogar eine Spannung, die fast $1,30$ (*Zn Cu*) erreichte.

Ich habe auch versucht, den Ort einer dichten Goldplatte zu bestimmen. Eine dünne Platte vom reinsten Golde, wie es der Probierer dem Goldarbeiter liefert, deren Durchmesser $73,2^{\text{mm}}$ betrug, wurde auf eine gleich grosse Kupferplatte aufgelöthet; leider war die Löthung nicht überall gleich gut gelungen, weshalb sich beim Putzen mit Schmirgelpapier an einer kleinen Stelle die Goldplatte von der Kupferplatte löste und daselbst eine niedrige etwas breite Blase bildete; ausserdem zeigten sich unter dem Mikroskope auf der Platte kleine weisse entweder von anhängendem Zinn oder Eisen gebildete Flecken. Die Farbe der frisch geputzten Oberfläche war sehr dunkelgelb.

Diese Goldplatte wurde auf ein geeignetes Stativ so unter die obere kupferne Condensatorplatte gelegt, dass die vorderen Ränder beider in einer Verticale lagen und der Abstand der beiden Platten mittelst des Mikroskops ebenso wie sonst gemessen werden konnte. Der bei diesen Versuchen beobachtete Ausschlag war aber wegen der geringen Grösse der Goldplatte nicht unmittelbar mit den Ausschlägen, welche die grösseren Platten lieferten, vergleichbar, weshalb eine Zink- und eine Kupferplatte von gleichem Durchmesser mit der Goldplatte angefertigt werden mussten. Nach sorgfältigem Putzen wurden dieselben genau an die Stelle der Goldplatte gelegt, und wie mit dieser verfahren.

Die Zinkplatte erzeugte einen Ausschlag von $- 2,36$ Skth., die Kupferplatte von $- 0,39$ Skth., und die Goldplatte von $- 0,47$ Skth.; hieraus würde eine elektrische Differenz des Goldes gegen (*Zn*) gleich $0,96$ (*Zn Cu*) folgen, also die frisch geputzte Oberfläche des Goldes sogar noch positiver als die frische Oberfläche des Kupfers sein.

Als die gewalzte Goldplatte einen Tag an der Luft gelegen hatte, gab sie einen Ausschlag von $+ 0,05$ Skth., was eine elektrische Differenz gegen (*Zn*) gleich $1,22$ (*Zn Cu*) anzeigt.

12. Palladium.

Eine viereckige Palladiumplatte von 59^{mm} Länge und 49^{mm} Breite, deren Benutzung ich der Güte meines verehrten Collegen Herrn Prof. Erdmann verdanke, wurde, da ihre Oberfläche etwas wellenförmig

war, mittelst des S. 17 beschriebenen mit Hebelvorrichtung versehenen Apparates in Bezug auf ihr elektrisches Verhalten untersucht. Das Palladium liess sich sehr schwer reinigen.

Als die Palladiumplatte mit einer seit länger als zwei Monaten an der Luft gelegenen Silberplatte verglichen wurde, zeigte sie sich schwach positiv; dagegen erschien sie gegen eine ebenso lange an der Luft gelegene Kupferplatte negativ, so dass das Mittel aus den Werthen für die beiden Platten, 1,15 (*Zn Cu*), sich nicht sehr von der Wahrheit entfernen wird.

13. Silber.

Eine mässig dicke Platte chemisch reinen Silbers von 95^{mm} Durchmesser wurde auf eine Kupferplatte gelöthet, und gab nach sorgfältiger Reinigung nur einen äusserst geringen Ausschlag; derselbe betrug im Mittel einer ersten Versuchsreihe + 0,07 Skth., und einer zweiten + 0,05 Skth.; aus dem Mittel beider Werthe + 0,06 Skth. folgt gegen (*Zn*) eine elektrische Differenz 1,18 (*Zn Cu*).*

Nach zweitägigem Liegen an der Luft betrug der Ausschlag in einem Falle + 0,10 Skth.; ein Abreiben mit einem Handtuche änderte Nichts. Bei einem andern Versuche gab die Platte bereits zwei Stunden nach dem Putzen den Ausschlag + 0,17 Skth.; nachdem sie dann 5 Tage an der Luft gelegen, in welcher Zeit nur am vorletzten Tage auf einige Zeit Gas im Zimmer gebrannt hatte, fand ich einen Ausschlag von + 0,53 Skth., was gegen (*Zn*) eine elektrische Differenz von 1,30 (*Zn Cu*) anzeigt. Die Platte blieb nun länger als zwei Monate unangerührt an der Luft liegen und zeigte nach dieser Zeit eine besonders am Rande merkliche gelbe Färbung; in diesem Zustande auf ihr elektrisches Verhalten untersucht gab sie fast gar keinen Ausschlag, verhielt sich also dem reinen Silber sehr nahe gleich. Auch beim Silber erfolgt also, ebenso wie beim Blei und vielleicht auch beim Kupfer, durch Liegen an der Luft eine Veränderung der Oberfläche in der Weise, dass, vielleicht infolge der Einwirkung des Sauerstoffes der Luft, dieselbe erst nach der negativen Seite der Spannungsreihe hin sich verschiebt, und dann, wahrscheinlich durch das gebildete Schwefelsilber, wieder nach dem ursprünglichen

*) Kohlrausch fand für (*Zn Ag*) den Werth 1,09 (*Zn Cu*); als Silberplatte diente eine versilberte Messingplatte. Pogg. Ann. Bd. 82. S. 15 und Bd. 88. S. 472.

Orte zurückkehrt. Ob die Platte durch noch längeres Aussetzen an die Luft sich dem Zinke vielleicht noch mehr nähern kann, habe ich bis jetzt nicht zu untersuchen vermocht.

13. Platin.

Eine dünne auf eine ebengeschliffene Kupferplatte aufgelöthete Platinplatte von 95^{mm} Durchmesser gab in drei übereinstimmenden Versuchsreihen im Mittel den Ausschlag $+ 0,27$ Skth., in einer vierten den Ausschlag $+ 0,32$. Aus dem Mittel $+ 0,28$ Skth. ergibt sich eine elektrische Differenz gegen (Zn) im Betrage von 1,23 (Zn Cu).*)

Auch die Oberfläche des Platins erleidet durch Liegen an der Luft gewisse Veränderungen.

B. Legirungen.

1. Amalgamirtes Zink.

Eine Zinkplatte von gleicher Grösse mit den zu den vorstehenden Messungen benutzten ward durch Reiben mit Quecksilber und etwas Schwefelsäure amalgamirt, dann mit Wasser abgewaschen und mit Fliesspapier abgerieben. Nachdem sie länger als zwei Monate an der Luft gelegen, wurden einige Tropfen reines Quecksilber darauf gebracht, mit einem Stückchen Schmirgelpapier behufs einer vollständigen Amalgamirung darauf herumgerieben und dann die Platte durch Abreiben mit Papier und Handtuch von allem überflüssigen Quecksilber und von etwa anhängendem Schmutze befreit. Die Platte wurde nun entweder in diesem Zustande sofort als untere Condensatorplatte benutzt, oder auch nochmals mit frischem Quecksilber übergossen und durch blosses Abstreichen mit Papier möglichst von einer Oxydhaut gereinigt.

Die Fläche der amalgamirten Platte war nicht vollkommen eben, sondern hatte durch stellenweis stärkeren Angriff des Quecksilbers einige sehr schwach vertiefte Stellen. Indess war die Unebenheit nicht so

*) Kohlrausch fand für (Zn Pt) den Werth 1,23 (Zn Cu); als Platinplatte diente eine Kupferplatte, welche durch Hülfe von Platinsalmiak mittelst eines ziemlich starken Stromes mit Platin überzogen war. Die von Kohlrausch benutzte Zinkplatte war durch Kaliumzinkcyanür auf galvanischem Wege mit einer Schicht reinen Zinks überzogen worden. Pogg. Annal. Bd. 82. S. 15 und Bd. 88. S. 472.

gross, dass bei dem gewählten Abstände der beiden Condensatorplatten sehr erhebliche Störungen in dem Werthe der Spannungen zu befürchten gewesen wären.

Wenn die Platte nach dem Amalgamiren mehr oder weniger stark mit einem Handtuche abgerieben wurde, so gab sie höchstens die Spannung von $-4,76$ Skth.; indess erschien nach einem solchen Abreiben die Oberfläche nicht überall stark glänzend. Als in einem anderen Versuche die Platte mit Quecksilber übergossen und durch Ueberstreichen mit Papier eine dünne Schicht darauf gelassen wurde, erhielt ich einen Ausschlag von $-5,07$ Skth. Dabei war aber die Platte schon auf einer Seite vom Rande her etwas blind geworden. Dürfte man diese Zahl als richtig annehmen, so würde das amalgamirte Zink noch etwas positiver sein, als das gewöhnliche; indess kann die geringe Erhöhung des Ausschlages auch dadurch erzeugt worden sein, dass die Oberfläche der amalgamirten Platte durch die Quecksilberschicht, die nicht ganz eben erschien, der oberen Kupferplatte mehr genähert war, als eine mit ihrem Rande in gleicher Höhe angebrachte gewöhnliche Zinkplatte mit ebener Oberfläche.

Als die Platte ein anderes Mal, nachdem sie frisch amalgamirt und bloss mit Papier abgewischt war, eine Spannung von $-4,76$ zeigte, verringerte sich dieser Ausschlag nach $1\frac{1}{4}$ stündigem Liegen an der Luft bis $-4,28$.

Da mir die Darstellung einer vollkommen reinen, überall gleichmässig glänzenden Zinkplatte so, wie ich gewünscht hätte, nicht gelungen ist, so wage ich aus den vorstehend angeführten Messungen nur den Schluss zu ziehen, dass das amalgamirte Zink in Bezug auf seine Stellung in der Spannungsreihe nicht weit vom gewöhnlichen Zink abstehen kann.

2. Neusilber.

Eine dünne Neusilberplatte wurde auf eine Eisenplatte gelöthet; nach einer von Herrn Sachsse im chemischen Laboratorium ausgeführten Analyse wurde in $1,0475$ gr. dieser Legirung gefunden:

Kupfer $0,625$ gr.

Zink $0,2538$

Nickel $0,161$

$1,0408$

was nach Procenten berechnet die Zusammensetzung gibt:

Kupfer	59,6
Zink	24,2
Nickel	15,3
	<hr/>
	99,1

Sorgfältig geputzt, gab die Neusilberplatte einen Ausschlag von $-1,74$ Skth. (red.), woraus gegen (Zn) eine elektrische Differenz $= 0,75$ (Zn Cu) folgt. Nachdem die Platte länger als zwei Monate an der Luft gelegen hatte, beobachtete ich einen Ausschlag von $-0,91$ Skth. (red.), was einer elektrischen Differenz gegen (Zn) im Betrage von $0,95$ (Zn Cu) entspricht.

3. Messing.

Eine von Herrn Dr. Stadler im chemischen Laboratorium ausgeführte Analyse lieferte für die Zusammensetzung dieses Messings folgende Resultate:

Zur Analyse wurden verwandt $1,858$ gr.; darin fand sich

Kupfer	$1,244$ gr.
Zinkoxyd	$0,602$
Blei	$0,016$
Zinn	Spuren
	<hr/>
	$1,862$

oder nach Procenten berechnet

Kupfer	$66,95$
Zink	$32,40$
Blei	$0,86$
	<hr/>
	$100,21$.

Die frisch gereinigte Platte lieferte einen Ausschlag von $-1,62$ Skth. (red.), würde also mit (Zn) eine elektromotorische Kraft von $0,78$ (Zn Cu) erzeugt haben. Nach zweitägigem Liegen an der Luft betrug der Ausschlag nur noch $-1,15$ Skth. (red.), was gegen (Zn) eine elektrische Differenz $0,90$ (Zn Cu) gibt.

4. Stahl.

Da der Stahl mehr Kohle als das Schmiedeeisen enthält, so war vorauszusehen, dass er negativer als dieses sein würde.

Eine nicht gehärtete Stahlplatte von 94,4^{mm} Durchmesser gab einen Ausschlag von $-1,06$ Skth. (red.), der nach den früher beim Kadmium mitgetheilten Versuchen auf die normale Grösse von 95^{mm} reducirt, in $-1,11$ Skth. übergeht. Hieraus folgt gegen (Zn) eine elektrische Differenz von 0,94 (Zn Cu). Die länger als zwei Monate an der Luft gelegene Platte brachte einen Ausschlag von $-0,44$ Skth. (red.) hervor, zeigte also gegen (Zn) eine elektrische Differenz 1,07 (Zn Cu).

5. Gusseisen.

Ebenso wie beim Schmiedeeisen war es auch beim Gusseisen schwierig, eine geeignete Platte zu finden; nach mehrfachen fruchtlosen Bemühungen lieferte endlich eine aus einer Kochofenplatte herausgeschlagene Scheibe eine vollkommen tadelfreie Oberfläche. Je nach dem Gehalte an Kohlenstoff und der Art seiner Verbindung wird das Gusseisen in der Spannungsreihe eine andere Stellung einnehmen.

Die frisch geputzte Platte gab einen Ausschlag von $-1,04$ Skth. (red.), woraus gegen (Zn) die elektrische Differenz 0,92 (Zn Cu) folgt.

Nachdem die Platte länger als zwei Monate der Luft ausgesetzt gewesen, war der Ausschlag auf $-0,55$ Skth. (red.) gesunken, was einer elektrischen Differenz gegen (Zn) im Betrage von 1,04 (Zn Cu) entspricht.

C. Kohle.

Ich habe mir viele Mühe gegeben, aus der an Bodenstücken von Gasretorten abgesetzten dichten Kohle mit fast muschligem Bruche ein zu einer Condensatorplatte von 95^{mm} Durchmesser brauchbares Stück zu gewinnen; indess gelang dies wegen der schaligen Absonderungsflächen nicht. Ich musste mich daher mit einem weniger dichten, etwas porösen Stücke aus den cylindrischen Theilen der Retorte begnügen.

Wurde die hieraus gearbeitete Condensatorplatte von 95^{mm} Durchmesser nach demselben Verfahren wie die Metallplatten mit Schmirgelpapier geputzt, dann mit einem Handtuche abgestäubt und abgerieben, so zeigte sie, unmittelbar darauf auf die Kupferplatte des Trägers gelegt, ein eigenthümliches Verhalten. Je nach der seit dem Reiben verflossenen Zeit brachte sie anfangs einen mehr oder weniger grossen negativen Ausschlag (z. B. von $-1,0$ Skth.) hervor, derselbe stieg und erreichte in

einigen Minuten ein Maximum (z. B. von $-3,0$ Skth.), worauf eine Abnahme des negativen Ausschlags und dann ein allmählicher Uebergang in einen positiven Ausschlag eintrat, der zuletzt die Grösse $+0,16$ Skth. erreichte. Es liess sich leicht durch Isolation der nach dem Abreiben auf den Träger gelegten Kohlenplatte nachweisen, dass der obige negative Ausschlag einer durch Reiben erzeugten und durch mangelhaftes Leitungsvermögen an einzelnen Punkten in der Platte zurückgehaltenen schwachen Elektrizität seine Entstehung verdankte. Wurde die Platte, während sie einen Ausschlag von $+0,16$ Skth. gab, unter den Recipienten der Luftpumpe gelegt, die Luft möglichst verdünnt und dann die Platte schnell wieder auf den Träger gebracht, so zeigte sich der frühere Ausschlag unverändert; eine Condensation von Gasen ist also bei der früheren eigenthümlichen Zu- und Abnahme nicht im Spiele gewesen, sondern dieselbe allein durch die Aenderung der mittelst Reibung in der Platte erzeugten Elektrizität bedingt worden.

Nicht bloss beim Reiben mit einem leinenen Handtuche, sondern auch beim Ueberstreichen mit einem feinen Haarpinsel zeigte sich der oben erwähnte negative Ausschlag, so dass also die Kohle oder gewisse in ihr sitzende Theilchen selbst durch Reiben mit Haaren positiv elektrisch wurden.

Der durch die elektrische Differenz des angewandten Kohlenstückes gegen die obere kupferne Condensatorplatte hervorgerufene Ausschlag betrug $+0,16$ Skth., den man allerhöchstens mit Rücksicht auf die zahlreichen Grübchen in der Platte bis $+0,20$ Skth. erhöhen dürfte. Nimmt man diese letztere Zahl als richtig an, so folgt daraus gegen (Zn) eine elektrische Differenz $1,22$ (Zn Cu), wonach also die Kohle in der Spannungsreihe ihren Ort in der Nähe des Platins erhielt. Nach mehrtägigem Aussetzen an die Luft gab sie unverändert den obigen Ausschlag von $+0,16$ Skth.

D. Zusammenstellung der im Vorstehenden erhaltenen Resultate.

Der leichteren Uebersicht wegen will ich zum Schlusse dieses Abschnittes einen grossen Theil der durch die beschriebenen Versuche gewonnenen Zahlenresultate zusammenstellen.

Für die einfachen Metalle und die Kohle (C) erhalten wir:

$(AlZn) = 0,25 (ZnCu)$	$(ZnFe) = 0,84 (ZnCu)$
$(ZnSn) = 0,23$ »	$(ZnCu) = 1,00$ »
$(ZnCd) = 0,24$ »	$(ZnAu) = 1,00$ »
$(ZnPb) = 0,44$ »	$(ZnPd) = 1,15$ »
$(ZnSb) = 0,69$ »	$(ZnAg) = 1,18$ »
$(ZnBi) = 0,72$ »	$(ZnC) = 1,22$ »
$(ZnHg) = 0,81$ »	$(ZnPt) = 1,23$ »

Aus vorstehenden Werthen lässt sich nun ohne Weiteres eine sogenannte Spannungsreihe construiren. Ich werde das Intervall zwischen Zink und Kupfer = 100 setzen, aber zur Vermeidung negativer Vorzeichen den Ort des Zinks mit 200 und folglich den des Kupfers mit 100 bezeichnen. In dieser Tabelle sollen auch die Legirungen mit aufgeführt, so wie die Orte angegeben werden, welche die Oberflächen der Metalle kürzere oder längere Zeit nach ihrer Reinigung einnehmen.

Name des Metalles.	Ort in der Spannungsreihe				Betrag der grössten beobachteten Veränderung.
	unmittelbar nach dem Putzen.	1 bis 2 Tage nach dem Putzen.	4—7 Tage nach dem Putzen.	länger als 2 Monate nach dem Putzen.	
Aluminium	225		165	140	85
Amalgamirtes Zink	200?				
Zink	200	188		157	43
Zinn	177		164	152	25
Kadmium	176		164	139	37
Blei	156		135	151	21
Antimon	131		122	113	18
Wismuth	128	116	110	106	22
Neusilber	125			105	20
Messing	122	110			
Quecksilber	119	60			59
Eisen	116		100	92	24
Stahl	109			93	16
Gusseisen	108			96	12
Kupfer	100		86		14
Gold	100		81		19
Palladium	85				
Silber	82		70	82	12
Coke	78		78		
Platin	77				

Die fünfte Columne der vorstehenden Tabelle zeigt, dass die Metalle nach längerem Liegen an der Luft infolge von Aenderungen der Oberflächen ihre Reihenfolge ändern können. So tritt z. B. das Aluminium unter das Zinn, das Blei rückt durch Schwefelung über das Kadmium.

In der sechsten Columne habe ich die grösste Ortsveränderung, welche ein Metall mir gezeigt hat, aufgeführt. Man sieht, wie dieselbe im Allgemeinen am positiven Ende am grössten ist, wo sie für Aluminium sogar die enorme Grösse 0,85 (*Zn Cu*) erreicht, und (abgesehen vom flüssigen Quecksilber) nach dem negativen Ende hin abnimmt. Da die Aenderung der Metalloberflächen von den zufällig in der Zwischenzeit seit dem Reinigen und der Beobachtung im Zimmer z. B. durch Brennen der Gasflammen erzeugten, oder aus den Nebenzimmern z. B. von Bunsen'schen oder Grove'schen Elementen eingedrungenen Gasen abhängig ist, und auch in der Zeit von zwei Monaten sicherlich ihr Maximum noch nicht erreicht hat, so können die Zahlen der sechsten Columne nur zur Charakterisirung der Vorgänge im Allgemeinen dienen, und dies um so mehr, da es scheint, als ob in gewissen Fällen die Oxydation und die Schwefelung, was jedoch einer späteren Untersuchung vorbehalten bleiben muss, einen entgegengesetzten Einfluss in Betreff der Ortsveränderung ausüben.

Metall	1. Columne	2. Columne	3. Columne	4. Columne	5. Columne	6. Columne
Zinn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Blei	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kadmium	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aluminium	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,85
Zink	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cuprum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Quecksilber	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gold	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Palladium	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Silber	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kobalt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nickel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Platin	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00