

## Galvanische Electricität \*).

Wir kommen nun auf diejenige Erregungsart der E. zurück, welche bei der sanftesten mechanischen Einwirkung der Körper auf einander, bei der blossen *wechselseitigen Berührung* derselben erfolgt, und welche die Chemie weit mehr als alle übrigen interessirt.

Man hat diese Electricitäts-Erregung zuerst blos bei guten Leitern der Electricität, namentlich bei den Metallen beobachtet und gefunden, dass bei der Berührung irgend zweier heterogener Metalle E. erregt wird, wobei das eine Metall + E., das andere - E. annimmt, dass jedoch die Intensität der beiden E., je nach Verschiedenheit der Metalle sehr verschieden ausfällt.

\*) Ich bin bei der Darstellung der Lehre von dem Galvanismus fast ausschliessend Fechner's classischem Werke: *Lehrbuch des Galvanismus und der Electrochemie*, Leipzig 1829. gefolgt, welches er als dritten Band seiner Bearbeitung von Biot's *Lehrbuch der Experimentalphysik* einverleibt hat. In diesem Werke ist nicht blos das früher bekannte mit grosser Klarheit und Gründlichkeit abgehandelt, sondern es enthält auch eine Menge eigenthümlicher Untersuchungen von Fechner, welche gerade über die verwickeltsten Punkte der Lehre von dem Galvanismus Licht verbreiten. — Diejenigen, welche tiefer in diesen Gegenstand eindringen wollen, werden daher das genannte Werk selbst in Verbindung mit Fechner's *Maassbestimmungen über die galvanische Kette*, Leipzig 1831. und desselben *Repertorium über Experimentalphysik*, 3 Bände. (Leipzig 1832) studiren.

*Fundamentalversuche.*

Man kann die Versuche, durch welche diese Elektrizitäts-Erregung bewiesen wird, auf verschiedene Weise anstellen.

1) Man nehme zwei Scheiben von verschiedenen Metallen, z. B. die eine von Zink, die andere von Kupfer, beide gleich gross, vollkommen eben, und in ihrer Mitte mit einem senkrecht auf der Ebene der Scheiben befestigten isolirenden Stab versehen, mittelst dessen man die Scheiben mit einander in Berührung bringen und wieder von einander trennen kann, ohne sie selbst zu berühren. Man nähere die Scheiben einander, bis sie sich berühren, trenne sie hierauf von einander, indem man sie in paralleler Richtung von einander abzieht und untersuche nun die E., welche jede derselben angenommen hat, mittelst des Condensators, indem man jede einzelne Scheibe mit der Collectorplatte desselben in Berührung bringt \*) und die andere Platte des Condensators mit dem Boden in leitende Verbindung setzt: man wird finden, dass das Zink + E., das Kupfer - E. angenommen hat.

Die gewöhnlichen Elektrometer sind zu wenig empfind-

---

\*) Die Collectorplatte muss von demselben Metall seyn, aus welchem die Scheibe gemacht ist, mit welcher sie berührt wird. Wäre sie von einem andern Metall, so könnte dieses einen Einfluss auf das Resultat des Versuchs haben, weil die Scheibe durch ihre Berührung mit der heterogenen Collectorplatte selbst El. erregen würde, während dieses bei Metallen von derselben Natur nicht der Fall ist. Um daher die Art der El. zu untersuchen, welche Zink und Kupfer durch ihre gegenseitige Berührung annehmen, sollte man sich eines Condensators bedienen, dessen eine Platte Zink, die andere Kupfer ist. Jede Platte kann dann nach Belieben als Collectorplatte benützt werden.

lich, um die schwache E., welche bei solchen Versuchen erregt wird, ohne Hülfe des Condensators wahrnehmbar zu machen, und selbst dann muss man in der Regel die Collectorplatte mit der Metallscheibe wiederholt berühren, um die erregte E. merkbar zu machen. Man muss dann, nach jedesmaliger Berührung, beide Scheiben, namentlich auch diejenige, welche mit dem Condensator nicht in Berührung kommt, durch Berührung mit dem Finger zuvor entladen, dieselben hierauf wieder in Berührung mit einander bringen, und jetzt die Berührung des Condensators mit derselben Scheibe, wie zuvor, wiederholen.

Will man z. B. die  $\pm$ E., welche die Zinkscheibe durch ihre Berührung mit der Kupferscheibe annimmt, nachweisen, so lässt man beide Scheiben einander berühren, trennt sie dann, und berührt nun die kupferne Collectorplatte des Condensators, dessen andere Platte mit dem Boden in leitender Verbindung steht, mit der Kupferscheibe. Man entladet jetzt die Kupferscheibe und auch die Zinkscheibe durch Berührung mit dem Finger, bringt hierauf beide mit einander, an ihrem isolirenden Stab sie haltend, von neuem in Berührung, trennt sie, und berührt nun die Collectorplatte zum zweitenmal mit der Kupferscheibe, wiederholt dieses 7 oder 8mal und hebt dann erst die obere Platte des Condensators ab. Man findet dann, dass die kupferne Collectorplatte des Condensators von der Kupferscheibe — E. angenommen hat, dass mithin die Zinkscheibe durch ihre Berührung mit der Kupferscheibe  $\pm$ E. entwickelt haben musste.

2) Man verfertige die Platte des Condensators aus denselben Metallen, aus welchen die Scheiben gemacht sind, so dass also die eine Zink, die andere Kupfer ist. Man lasse die beiden Platten auf einander liegen, ohne, wie zuvor, die eine derselben mit dem Boden in leitende Verbindung zu setzen, so dass also beide isolirt sind. Man verfare mit der Berührung und Trennung der Zink- und Kupferscheibe ganz wie zuvor, berühre aber jedesmal die Zinkplatte des  
Con-

Condensators mit der Zinkscheibe, und die Kupferplatte desselben mit der Kupferscheibe. Trennt man nach einigemal wiederholten Berührungen die Condensatorplatten, so findet man die Zinkplatte mit  $+E.$ , die Kupferplatte mit  $-E.$  geladen. — Da die Elektricitäten, welche man bei diesem Versuch den Condensatorplatten mittheilt, einander gegenseitig binden, so werden diese Platten dadurch befähigt, weitere Mengen davon aufzunehmen und machen die so verstärkte  $E.$  durch das Elektrometer erkennbar. Da die Metalle der Scheiben die gleichen sind, wie die der Platten des Condensators, welche die Scheiben berühren, so kann durch diese Berührung keine  $E.$  erregt und desswegen auch das Resultat des Versuchs nicht unsicher gemacht werden.

Bei der blossen Berührung also von Zink und Kupfer, die beide isolirt sind, nimmt ersteres  $+E.$ , letzteres  $-E.$  an, und es fragt sich nun, welche Vorstellung man sich von dieser Erregungsart der  $E.$  zu machen habe? Die einfachste Annahme ist offenbar die, dass ein Theil des Elektricums von dem Zink sowohl als von dem Kupfer zersetzt werde, dass die  $-E.$  dieses Elektricums von dem Zink auf das Kupfer, die  $+E.$  des Elektricums aber von dem Kupfer auf das Zink übergehe, dass somit diese Elektricitäts-Erregung in einem wechselseitigen Empfangen und Hergeben entgegengesetzter Elektricitäten bestehe, wobei jedes Metall noch überdiss die Art von  $E.$  zurückbehält, welche derjenigen, die es an das andere abgibt, entgegengesetzt ist.

Vorderhand können wir uns mit dieser einfachen Vorstellung begnügen; später werden wir jedoch sehen, dass die elektrochemische Theorie selbst eine anders modificirte Vorstellung von dem, was hierbei vorgeht, fordert.

Die ihrer Natur nach unerklärte Kraft, welche bei der Berührung der Körper eine Zersetzung des Elektricums bewirkt und dadurch freie  $E.$  erregt, nennt man die *elektromotorische Kraft*, und die Combination zweier solcher Me-

talle einen *Elektromotor*, der also wesentlich aus zwei heterogenen Metallen oder überhaupt aus zwei heterogenen Körpern besteht, die durch ihre gegenseitige Berührung Elektrizität entwickeln.

Würde aber bei der Berührung heterogener Körper bloß die elektromotorische Kraft thätig seyn, so sollte die ganze Menge des in beiden Körpern enthaltenen Electricums zersetzt und die + E. desselben auf der einen, die - E. auf der andern Platte sich anhäufen. Dieses ist aber nicht der Fall, vielmehr erreicht die E. Erregung sehr bald eine Grenze, die sie nicht zu überschreiten vermag; erst nachdem man die Scheiben durch Berührung entladen hat, erregen sie durch ihre gegenseitige Berührung von neuem E., die dieselbe Stärke wie zuvor erhält, und dieses kann ins Unendliche wiederholt werden. Die erregte E. muss es also selbst seyn, was der Fortwirkung der elektromotorischen Kraft einen Widerstand leistet.

Man sieht übrigens sehr leicht ein, dass aus derselben Ursache, aus welcher die Zersetzung des Electricums beim Reiben der Körper eine Grenze hat (vergl. S. 632.), auch diese bei der Berührung erfolgende Zersetzung des Electricums nothwendig eine Grenze haben, und dass diese Grenze früher erreicht werden müsse, als die ganze Menge des Electricums, die doch in jedem Körper als eine endliche zu betrachten ist, zersetzt seyn kann. Je grösser nemlich die Menge der erregten E. wird, desto mehr wird auch

a) die Repulsionskraft der auf einer Scheibe sich anhäufenden El. Theilchen vergrössert, vermöge welcher diese sich bestreben, auf die andere Scheibe überzutreten und die dort angehäuften entgegengesetzten E. zu neutralisiren, d. h. eine Recomposition des Electricums zu bewirken;

b) die anziehende Kraft der auf beiden Scheiben sich anhäufenden entgegengesetzten Elektricitäten zunehmen, zuletzt bis auf einen solchen Grad, dass sie sich wirklich zu OE. wie-

der verbinden würden. Die Zersetzung des Electricums wird also nur so lange fortdauern können, bis die Repulsivkraft der auf jeder Scheibe angehäuften Electricität, nebst der Anziehungskraft der entgegengesetzten Electricitäten beider Scheiben, der elektromotorischen Kraft das Gleichgewicht hält, und je stärker diese letztere ist, desto später wird auch jene Grenze erreicht, d. h. desto stärker wird die el. Ladung der Scheiben werden. Daher nimmt auch, wenn nur eine der beiden sich berührenden Scheiben isolirt, die andere aber mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt wird, die isolirte Scheibe eine doppelt so starke Ladung an, als sie angenommen haben würde, wenn *beide* Scheiben isolirt worden wären. Die E. der nicht isolirten Scheibe ist nemlich jetzt Null; die elektromotorische Kraft hat daher nicht mehr der Anziehungskraft der Electricitäten auf beiden Scheiben, sondern nur noch der Repulsivkraft der Electricitätstheilchen auf der isolirten Scheibe das Gleichgewicht zu halten: die Kraft also, welche der elektromotorischen Kraft Widerstand leistet, und welche man daher die *recompensirende Kraft* nennen kann, wird auf die Hälfte reducirt, wenn man die eine der Scheiben isolirt.

Man kann daher auch den Versuch n<sup>o</sup>. 1. so anstellen, dass man die eine Scheibe auf eine nicht isolirende Unterlage, z. B. die Hand, legt, und die andere, isolirte, mit dem Condensator prüft. Man wird dasselbe Resultat, nur einen stärkeren Grad von E. erhalten.

Was die Art betrifft, wie die entgegengesetzten Electricitäten auf den einander berührenden Scheiben während der Berührung derselben vertheilt sind, so lässt sich schon im Voraus erwarten, dass, da die Berührung eigentlich nichts Anderes, als eine sehr grosse Annäherung der Scheiben ist, diese einander gegenseitig die Dienste eines Condensators leisten werden, und dass daher an den Flächen, an welchen sich die Scheiben berühren und die entgegen-

gesetzten EE. der Scheiben einander gegenseitig binden, die Intensität der E. ohne alle Vergleichung grösser seyn werde, als auf der übrigen Oberfläche. Dieses erhellt wirklich aus den Versuchen von Volta und Fechner. Volta nahm eine sehr glatte und ebene Silberplatte, in welcher sich 3 ganz durch die Platte hindurchgehende kleine Löcher befanden, die ein gleichseitiges Dreieck bildeten. In diese Löcher brachte er drei silberne Schraubchen, deren Spitzen  $\frac{1}{10}$  Linie, oder etwas mehr oder weniger, über die ebene Platte hervorragten. Auf diese 3 Spitzen wurde nun eine ebenfalls ganz glatte und ebene Zinkplatte gesetzt, welche mithin die Silberplatte nur in drei Punkten berührte; die entwickelte E. war dennoch gross genug, um wahrnehmbar gemacht werden zu können, und sie wurde weit beträchtlicher, als die Platten einander so weit genähert wurden, dass kaum noch das Licht zwischen ihnen durchgehen konnte, ja sie wurde in diesem letztern Fall fast eben so stark, als bei der unmittelbaren Berührung. — Wurde dagegen die eine Platte mit der andern in einem Winkel, oder zwar horizontal aber nur an einem kleinen Theil des Randes in Berührung gebracht, kurz so, dass die Flächen der Platten selbst, die kleine Stelle ausgenommen, an der sie einander berührten, in bedeutender Entfernung sich befanden, so war die erhaltene E. weit schwächer, ungeachtet in diesem Fall der Berührungspunkte weit mehrere waren, als vorher. —

Wenige Punkte wirklicher Berührung äussern also, wenn sie mit einer Menge anderer in Verbindung stehen, die sich einander sehr nahe befinden, eine stärkere Wirkung, als jeder grössere Contact, wo aber die einander gegenüberliegenden Oberflächen um vieles kleiner, oder einander nicht in dem Grade genähert sind.

Wenn man auf eine, isolirte oder nicht isolirte, Zinkscheibe eine isolirte Kupferscheibe legt, so zeigt letztere, wenn sie von der Zinkscheibe getrennt wird, mit dem Con-

densator untersucht, — E. Legt man dagegen auf die Zinkscheibe eine andere Kupferscheibe von den gleichen Dimensionen mit der vorigen, und berührt nun diese wiederholt mit der übertragenden isolirten Kupferscheibe, so wird man kein deutliches Zeichen von E. am Condensator bemerklich machen können. Wäre auf der mit der Zinkscheibe in Berührung befindlichen Kupferscheibe die E. durchaus frei und gleichförmig vertheilt, so würde sie der zweiten sie berührenden Kupferscheibe die Hälfte ihrer E. mittheilen, da diese, als ein gleichartiges Metall, durch seine eigene Berührung keine E. erregt, und man müsste, wenn man die Berührungen wiederholte, gleich starke Zeichen von E. am Condensator erhalten, wie wenn man die Kupferscheibe selbst, welche die Zinkscheibe berührt, von letzterer trennte, mit dem Condensator in Verbindung setzte, und die Berührungen nur halb so oft wiederholte. Man erhält aber in der That im ersteren Fall keine deutliche Zeichen von E., woraus erhellt, dass eine isolirte Kupferscheibe, mit welcher man die mit dem Zink in Berührung befindliche Kupferscheibe berührt, letzterer keine merkliche Menge von E. zu entziehen vermag, dass also die E., welche bei der Berührung von Kupfer und Zink wirklich erregt wird, *grösstentheils* in einem Zustand von Gebundenheit sich befindet und erst bei der Trennung der Scheiben von einander in Freiheit gesetzt wird, und dass nur ein sehr kleiner Theil dieser E. auf den in gegenseitiger Berührung befindlichen Scheiben im Zustand von Freiheit sich befindet.

Wenn man nun dagegen den Versuch auf die Weise anstellt, dass man zwar die Kupferscheibe mit der Zinkscheibe in Berührung lässt, aber, indem man die Zinkscheibe mit dem Erdboden in leitende Verbindung bringt, die Kupferscheibe mit der Collectorplatte des Condensators, welche in diesem Fall von Kupfer seyn muss, unmittelbar in Berührung setzt, so wird man jetzt deutliche Zeichen von — E.



erhalten. Aber die Quelle dieser E. ist verschieden von der bei den vorigen Versuchen. Werden nemlich die Scheiben nach der Berührung von einander *getrennt* und dann mit dem Condensator in Verbindung gesetzt, so ladet sich dieser *hauptsächlich* durch die gebundene, bei der Trennung frei werdende E. der Scheiben; werden aber die sich berührenden Scheiben *nicht getrennt*, die eine aber (Zink) mit dem Erdboden, die andere (Kupfer) mit dem Condensator in Verbindung gesetzt, so kann sich dieser zwar durch die *gebunden bleibende* E. des Kupfers nicht laden, er wird sich aber durch die *freie* E. desselben laden, die zwar an sich sehr schwach ist, aber jetzt sich augenblicklich, weil die E. der andern (Zink) Scheibe abgeleitet ist, wieder erzeugen kann, und dadurch ihre Schwäche ersetzt.

Wenn der Ausschlag des Condensators von der E. der *getrennten* Scheiben abhängt, so kommt Alles auf die Grösse und Glätte der Flächen an, mit welchen man die Scheiben einander berühren lässt, und wenn man z. B. eine Zinkscheibe mit der Ecke einer isolirten Kupferscheibe berührt, so wird der Condensator von letzterer, nachdem sie von ersterer getrennt worden, doch keine merkliche Spur von El. annehmen, weil wegen der kleinen Berührungsgrösse nur eine sehr kleine Quantität E. von starker Intensität durch die Berührung entstehen kann, die sich nach der Trennung auf der Scheibe ausbreitet, und auch, wenn die Scheiben nicht sehr gross sind, die Menge der während der Berührung gleichförmig verbreiteten, freien El. ebenfalls sehr gering ist. — Wenn dagegen der Ausschlag des Condensators von der sich auch während der Berührung gleichförmig verbreitenden, freien E. abhängt, so ist es ganz gleichgültig, ob die Berührung mit einer grossen oder kleinen Fläche bewerkstelligt wird.

Man kann daher auch, um die El., welche z. B. Kupfer durch seine Berührung mit Zink annimmt, nachzuweisen,

auf folgende einfache Art verfahren. Man nimmt einen Condensator, dessen untere Platte Kupfer ist, und dessen obere von einem beliebigen Metall seyn kann. Die obere wird mit dem Boden in Verbindung gesetzt, während man die untere mit einem Zinkstab, den man in der Hand hält, einen Augenblick berührt. Man entfernt zuerst den Zinkstab, hebt hierauf die obere Platte ab, und findet nun, dass das mit dem Condensator verbundene Elektrometer — E. anzeigt. — Hier wird diese — E. blos durch die gleichförmig verbreitete El. hervorgerufen, welche durch die Berührung des Kupfers mit dem Zink erregt wird, und sich, da sie durch die + E. der obern Platte des Condensators gebunden wird, augenblicklich von Neuem wieder erzeugt.

Es ist also durchaus wesentlich, bei allen Versuchen dieser Art, die *während der Berührung gebundene El.* von der *nicht gebundenen, freien und gleichförmig vertheilten* zu unterscheiden, und ungeachtet die erstere eine viel grössere Intensität hat, als die letztere, so kommt doch nur allein diese letztere in allen denjenigen Fällen in Betracht, wo die Berührung nicht aufgehoben wird, und sie ist daher in praktischer Hinsicht von viel grösserer Wichtigkeit. Wenn eine voltasche Säule z. B. in Thätigkeit gesetzt wird, so bleiben die Metalle, welche die Plattenpaare derselben bilden, beständig in Verbindung miteinander, und alle Erscheinungen an der Säule hängen daher von der freien, auf den Metallen gleichförmig verbreiteten, El. ab.

Es ist klar, dass mit der Grösse der leitenden Oberflächen, welche mit den einander berührenden Scheiben in Verbindung stehen, auch die Intensitäten der sich gleichförmig vertheilenden EE. ändern, und sich überhaupt umgekehrt wie diese Oberflächen verhalten müssen, denn in demselben Verhältniss, in welchem die Flächen grösser werden, auf welchen sich diese El. ausbreiten, muss auch die Intensität oder die Dicke der elektrischen Schicht abnehmen, da

die absolute Quantität von El., welche auf beiden einander berührenden Scheiben durch die Berührung erregt wird, gleich gross ist. Die Erfahrung lehrt auch wirklich, dass wenn die Platten, also die Ableitungsgrössen gleich gross sind, auch die Intensität der El. auf beiden gleich gross ist, dass aber, wenn die eine Platte mit dem Boden verbunden, ihre Ableitungsgrösse mithin unendlich gross ist, während die andere Platte isolirt ist, die El. auf der ersteren unendlich klein d. h. = 0 gefunden wird.

Dagegen hat man alle Ursache anzunehmen, dass so verschieden auch das relative Verhältniss dieser Intensitäten ist, dennoch immer die Summe der Intensitäten sich gleich bleibt, und ihrer Grösse nach von der elektromotorischen Kraft der sich berührenden Metalle abhängt und dieser als Maass dient; daher wird auch, wenn nur die eine Scheibe isolirt, die andere mit dem Boden in Verbindung gesetzt wird, die El. der ersteren durch die Berührung *doppelt so gross*, als wenn *beide* Scheiben isolirt werden, weil nemlich die Intensität der nicht isolirten Scheibe dann = Null wird.

Mittelst der angeführten Methoden lässt sich die durch die Berührung heterogener Metalle erregte El. blos bei denjenigen Metallen nachweisen, welche in so grosser Menge erhalten oder so leicht bearbeitet werden können, dass man aus ihnen Condensatorplatten verfertigen kann. Es gibt jedoch ein leichtes Mittel, diese El.-Erregung auch bei solchen Metallen zu prüfen, welche in geringer Menge zu erhalten und schwer zu bearbeiten sind. Dieses Mittel bieten uns zwei, auch in anderer Hinsicht höchst wichtige Thatsachen an die Hand, dass *Flüssigkeiten, welche keine bemerkbare chemische Einwirkung auf die Metalle zeigen, durch ihre Berührung mit Metallen das elektromotorische Verhältniss derselben nicht ändern, und blos als Leiter der durch Berührung*

*von Metallen mit Metallen erregten El. wirken.* Diese Thatsachen ergeben sich aus folgenden Versuchen.

a) Wenn man die untere kupferne Platte eines Condensators mit Zink berührt, während die obere mit dem Boden in Verbindung ist, so erhält, wie wir vorhin S. 681. gesehen haben, die untere El., und zwar  $-E$ . Aendert man aber jetzt den Versuch auf die Weise ab, dass man auf die untere Platte ein Blättchen befeuchtetes Papier legt, und nun dieses mit Zink berührt, so dass also das Kupfer mit dem Zink nicht unmittelbar, sondern nur unter Zwischenwirkung des feuchten Blättchens in Berührung kommt, so erhält man, nach Abhebung der oberen Platte, keine merkliche Zeichen von El. Dieser Versuch beweist 1) dass durch das befeuchtete Papierblättchen die elektromotorische Wirkung des Zinks auf das Kupfer unterbrochen wird, 2) dass das Blättchen selbst durch seine Berührung mit den Metallen keine *wahrnehmbare* El. erregt hat.

b) Wenn man aber jetzt den so eben angeführten Versuch mit der Abänderung wiederholt, dass man das befeuchtete Papierblättchen mit Zink berührt, *das an Kupfer angelöthet ist*, welches letztere man in der Hand hält, so erhält man nach Abheben des Deckels El., und zwar in diesem Fall  $+E$ . Das an Kupfer angelöthete Zink nimmt nemlich durch seine Berührung mit dem Kupfer  $+E$ . an, *welche das befeuchtete Blättchen zu der kupfernen Platte des Condensators fortleitet*. Würde man das befeuchtete Blättchen mit dem Kupferende eines Stabs berühren, der aus einem Kupfer- und einem Zink-Stab zusammengesetzt ist, so würde der Condensator  $-E$ . erhalten.

Die kleinsten Stücke von Metallen, die man mit einander in Verbindung bringt, reichen jetzt hin, die durch ihre Berührung erregte El. wahrnehmbar zu machen, indem man diese durch Hülfe eines befeuchteten Papiers dem Condensator zuleitet,

Indem man auf diese Weise die El. untersucht hat, welche bei der Berührung verschiedener Metalle erregt wird, fand man, dass sie nicht von gleicher Stärke, d. h. dass die elektromotorische Kraft eine verschieden grosse und in manchen Fällen so schwach ist, dass sie mittelst des Condensators nicht wahrnehmbar gemacht werden kann. Es gibt jedoch andere empfindlichere Instrumente, durch welche der Beweis geführt werden kann, dass nicht nur bei der Berührung aller Metalle, sondern sogar bei der Berührung von irgend zwei heterogenen Körpern El. erregt wird, so dass die Heterogenität die einzige Bedingung dieser Art von Elektrizitätserregung ist.

Wenn man die Metalle in einer solchen Reihe aufstellt, dass jedes vorausgehende durch seine Berührung mit dem nachfolgenden + E. und mithin durch seine Berührung mit dem ihm selbst vorausgehenden - E. annimmt, auf folgende Weise :

+

Zink  
Blei  
Zinn  
Eisen  
Kupfer  
Silber

-

so lehrt die Erfahrung 1) dass (gerade wie dieses auch bei der EL.-Entwicklung durch Reiben und Druck der Fall war) jedes Glied durch seine Berührung mit *jedem* ihm nachfolgenden + E. annimmt, 2) dass je grösser der Abstand zweier Glieder ist, desto grösser auch die elektromotorische Kraft derselben ist, so dass z. B. die Berührung von Zink und Silber eine stärkere El.-Erregung im Gefolge hat, als die Berührung von Zink mit dem dem Zink näher stehenden Kupfer.

Es könnte der Zweifel entstehen, ob nicht die EL.-Erregung durch Berührung ihren Grund in einer Reibung haben könne? Dieser Zweifel wird aber durch die einfache Thatsache gehoben, dass eine solche EL.-Erregung eben so gut statt findet, wenn man einen Metallstab aus zwei heterogenen Metallen, z. B. Zink und Kupfer verfertigt, die man an einander löthet. Nimmt man einen solchen Stab an seinem Zinkende in die Hand, und berührt mit seinem Kupferende die kupferne Platte eines Condensators, die, mit blossem Kupfer berührt, keine EL. annimmt, so erhält diese Platte — E., ungeachtet hier von einem Druck oder einer Reibung nicht die Rede seyn kann.

Nachdem wir in dem Vorhergehenden gezeigt haben, dass durch die Berührung zweier heterogener Metalle EL. erregt wird, wobei immer das eine + E., das andere — E. annimmt, nachdem wir die Art betrachtet haben, wie die erregte EL. auf den beiden Metallen während ihrer Berührung vertheilt ist, und den wesentlichen Unterschied, der zwischen der freien und gebundenen EL. statt findet, erörtert haben, so ist nun die nächste Frage, die sich von selbst aufdringt, die, ob nicht die ihrer Intensität nach immer sehr schwache EL., welche durch die Berührung zweier Metalle erregt wird, nicht etwa dadurch verstärkt werden könne, dass man *mehrere solcher Plattenpaare* mit einander in Verbindung setzt? Theorie und Erfahrung zeigen aber, wie wir gleich sehen werden, dass dieses nicht der Fall ist, dass namentlich mehrere Plattenpaare von Kupfer und Zink, die man nach folgender Ordnung auf einander schichtet: Kupfer, Zink; Kupfer, Zink u. s. f., nicht mehr leisten, als ein einziges Plattenpaar, indem die Endglieder jeder solchen aus blossen Metallen, *ohne feuchte Zwischenleiter*, aufgeschichteten Säule nicht schwächer und nicht stärker elektrisch werden, als wenn sie sich *unmittelbar* berührten.

Betrachten wir zuerst den Fall, wo auf ein aus Kupfer und Zink bestehendes Plattenpaar KZ eine weitere Kupferplatte K' gesetzt wird, so dass man erhält: KZK'; die unterste Kupferplatte K sey mit dem Boden in Verbindung, die oberste K' mit einem isolirenden Stiel versehen, mittelst dessen sie von der Zinkplatte Z abgehoben werden kann. Die -E., welche die untere K durch ihre Berührung mit Z entwickelt, wird, ihrem freien Antheil nach, ganz in den Boden abgeleitet werden, dagegen wird die freie + E., welche Z durch seine Berührung mit der *untern* K erhält, nicht in den Boden abgeleitet werden, und sich auch nach der oberen K' zu verbreiten. Diejenige freie + E. aber, welche Z durch seine Berührung mit der *oberen* (isolirten) K annimmt, wird ebenfalls, da sie durch die untere K mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt ist, ganz abgeleitet werden, und so wird also die freie + E., welche Z durch seine Berührung mit K annimmt, einer eben so starken freien - E., welche K' durch seine Berührung mit Z erhält, begegnen, und diese beiden El. werden sich zu 0E. neutralisiren. Man wird daher, sofern *blos* die Erscheinungen freier El. in Betracht gezogen werden, in dem angeführten Fall keine Zeichen von El. erhalten \*).

---

\*) Man wird das Gesagte einleuchtend finden, wenn man sich erinnert, dass wenn ein nicht isolirtes Metall mit einem isolirten in Berührung kommt, die El., und zwar nicht blos die gebundene, sondern auch die freie, welche das isolirte Metall durch die Berührung annimmt, durch das nicht isolirte nicht abgeleitet wird; es wird ja (S. 679 u. 685.) ein Condensator, dessen Collectorplatte von Kupfer ist, durch Berührung mit einem Kupferstab geladen, welcher an einem Zinkstab, den man in die Hand nimmt, angelöthet ist. Gerade wie, wenn ein isolirter Körper mit einem nicht isolirten gerieben wird, blos die El., welche der nicht isolirte durch Reiben erhält, abgeleitet wird, indem die Kraft, welche die Zersetzung

Ganz anders aber verhält sich die Sache, wenn man die während der Berührung der Metalle *gebundenen* EE. in Betracht zieht, d. h. wenn man den elektrischen Zustand der Kupferplatte  $K'$  untersucht, nachdem man sie an ihrem isolirenden Handgriff von der Zinkplatte  $Z$  entfernt hat. Die Platte  $K'$  gibt auf diese Weise eine merklich eben so starke — El. am Condensator zu erkennen, als wenn die Platte  $K$  gar nicht vorhanden wäre. Es kann sogar, ohne dass das Resultat des Versuchs geändert würde,  $K$  isolirt seyn, nur muss dann vor jedem neuen Aufsetzen von  $K'$  auf  $Z$ ,  $Z$  und  $K$  ableitend berührt werden.

Fechner hat, was sich übrigens schon im Voraus erwarten liess, durch Versuche gefunden, dass man statt  $K$ , beliebige andere Metalle, in beliebiger Zahl und Folge substituiren kann, und dennoch  $K'$  durch wiederholtes Abheben von  $Z$  merklich eben so starke negative El. an den Condensator überführt, als wenn es blos mit  $Z$ , ohne Gegenwart jener andern Metalle, in Berührung käme; dass überhaupt die El., die durch *Trennung* sich berührender Metallplatten zum Vorschein kommt, stets der Beschaffenheit der *direct*

---

des Electricums bewirkt, auch die El. auf dem isolirten Körper zurückhält, so verhindert auch bei der El.-Erregung durch Berührung die elektromotorische Kraft die Ableitung der El. des isolirten Körpers. So wird zwar in dem angeführten Fall die durch die Berührung von  $K$  mit  $Z$  entstandene freie — E. von  $K$ , nicht aber die freie + E. von  $Z$  abgeleitet, weil  $Z$ , das nur mit  $K'$  in Verbindung ist, als isolirt zu betrachten ist; eben so wird die durch die Berührung von  $Z$  mit  $K'$  entstandene freie + E. abgeleitet, weil  $Z$  durch  $K$  mit dem Boden in Verbindung gesetzt ist, dagegen wird die — E. von  $K'$  nicht abgeleitet, weil  $K'$  nach oben zu isolirt ist, und die elektromotorische Kraft selbst den Uebertritt dieser — E. auf  $Z$ , und durch  $Z$  auf  $K$  in den Boden, verhindert.



getrennten Glieder entspricht und von der Berührungsgrösse abhängt, dagegen von der Beschaffenheit der mit den getrennten Gliedern in Verbindung gesetzten Metalle ganz unabhängig ist. — Wenn man daher die Platte  $K'$ , ohne sie von  $Z$  abzuheben, an die kupferne Platte des Condensators anbringt, so kann nicht die geringste Spur von El. bemerkt werden, denn es ist dann derselbe Fall, wie früher, wo  $K', Z, K$  mit einander verbunden blieben, und wo nur die *freien*, einander gegenseitig neutralisirenden  $EE.$  in Betracht kamen.

Dieses ist auch dann noch der Fall, wenn man die obere Platte  $K'$  ganz wegnimmt, und die kupferne Platte des Condensators unmittelbar, aber mit der kleinst möglichen Fläche, mit der auf  $K$  liegenden bleibenden Zinkscheibe  $Z$  berührt. Denn während der Berührung haben wir dann wieder den Fall, wo  $KZK'$  mit einander in Verbindung sind, indem jetzt die kupferne Platte des Condensators die Stelle von  $K'$  vertritt; *nach* der Berührung aber kann keine merkliche El. am Condensator sich zeigen, weil die *gebundene* El. seiner kupfernen Platte, die nach ihrer Trennung von  $Z$  frei wird, in keinen Betracht kommen kann, da nach der Voraussetzung die Platte des Condensators und  $Z$  sich nur in einer sehr kleinen Fläche berührt hatten.

Setzen wir nun den Fall, dass  $K, Z, K'$  drei verschiedene, beliebige Metalle seyen, die einander in der angegebenen Folge berühren. Die freie El., welche  $Z$  mit  $K'$  annimmt, verbreitet sich nun auch gleichförmig über  $K$ : ist diese El. gleichnamig mit der freien El., welche  $K$  durch seine Berührung mit  $Z$  annimmt, so ist es klar, dass diese letztere verstärkt wird, dass sie aber vermindert wird, wenn die genannten freien El. ungleichnamig sind. Im Allgemeinen wird also das Metall  $K$ , mit dem Condensator geprüft, nicht dieselbe El. zeigen, wie wenn es mit  $Z$ , ohne die Ge-

genwart von  $K'$  geprüft worden wäre. Auch bei diesem Versuch muss, wenn überhaupt der Condensator eine bemerkliche Menge von El. annehmen soll,  $K'$  mit dem Boden in Verbindung gesetzt werden, denn wir haben gesehen, dass die Intensitäten der gleichförmig verbreiteten Elektricitäten auf den Platten sich umgekehrt, wie die Ableitungen verhalten: würde daher  $K'$  isolirt seyn, so würde  $K$ , welches mit dem Condensator in Verbindung ist, eine viel grössere Ableitung haben als  $K'$ , der Condensator mithin eine unbemerkliche Menge von El. annehmen, während das umgekehrte statt findet, wenn  $K'$  die Oberfläche der Erde zur Ableitung hat. (Der vorhin erörterte Fall, wo  $K$  und  $K'$  von derselben Natur, z. B. beide Kupfer sind, und wo der Condensator keine El. annimmt, ergibt sich als Corollarium zu dem so eben Gesagten: dort wird nemlich die  $-E.$ , welche  $K$  mit  $Z$  annimmt, durch eine eben so starke  $+E.$  neutralisirt, welche  $Z$  durch seine Berührung mit  $K'$  auf  $K$  überpflanzt).

Der Erfahrung zufolge gilt aber überhaupt das allgemeine Gesetz, dass nicht nur, wenn man zwischen zwei Metalle  $K, K'$ , ein drittes  $Z$ , sondern eine beliebige Anzahl gleichartiger oder verschiedenartiger Metalle einbringt, die Art und Stärke der El., welche das äusserste Metall  $K$  annimmt, dieselben bleiben, welche sie seyn würden, wenn man  $K$  mit dem anderen äussersten Metall  $K'$  unmittelbar berührte.

Einen besondern Fall dieses Gesetzes haben wir bereits erörtert, den nemlich, wo nur Ein Metall  $Z$  zwischen  $K$  und  $K'$  gebracht wird, und wo diese letzteren gleichartige Metalle (beide Kupfer) sind. Wir haben gesehen, dass in diesem Fall der Condensator von  $K$  keine El. annimmt, wie denn auch, übereinstimmend mit dem allgemeinen Gesetz,  $K$  mit  $K'$ , d. h. Kupfer in Berührung mit Kupfer, keine Elektricität entwickelt.

---

*Galvanische Spannungsreihe.*

Wir wollen nun das allgemeine Gesetz selbst erläutern.

Wenn man die Metalle in einer solchen Ordnung auf einander folgen lässt, dass das erste Metall durch seine Berührung mit dem zweiten dieselbe Art von El. annimmt, welche das zweite durch seine Berührung mit dem dritten, das dritte durch seine Berührung mit dem vierten annimmt, so nennt man eine solche Reihe die *galvanische Spannungsreihe der Metalle*. Die Grösse der Intensität der El., welche ein Metall durch seine Berührung mit dem ihm nachfolgenden annimmt, kann sehr verschieden seyn von der, welche dieses letztere mit dem ihm selbst nachfolgenden annimmt, und wenn diese relativen Intensitäten durch Zahlen ausgedrückt werden, so nennt man diese Zahlen die *relativen Abstände* je zweier auf einander folgenden Metalle. Wenn z. B. die Intensität der + El., welche Blei durch seine Berührung mit Zinn annimmt, = 1 gesetzt wird, so muss die fünfmal grössere Intensität von + E., welche das Zink mit Blei annimmt = 5 gesetzt werden; die Zahlen 1 und 5 drücken dann die relativen Abstände des Bleis vom Zinn und des Zinks vom Blei aus.

Das Gesetz der galvanischen Spannungsreihe ist folgendes: *Wird der relative Abstand der Metalle in der galvanischen Spannungsreihe durch Zahlen ausgedrückt, so ist der Abstand je zweier entfernter Glieder immer genau gleich der Summe der Abstände aller Zwischenglieder.*

Nach Volta lassen sich die Abstände der hier folgenden galvanischen Spannungsreihe durch die neben beigetzten Zahlen ausdrücken:

Zink

Zink	}	5
Blei		1
Zinn	}	3
Eisen		2
Kupfer	}	1
Silber		1

Da der Abstand des Zinks vom Blei = 5, der des Bleis vom Zinn = 1, so muss nach dem angeführten Gesetz der Abstand des Zinks vom Zinn =  $5 + 1 = 6$  seyn, d. h. die Intensität der + E., welche das Zink durch seine Berührung mit dem Zinn annimmt, muss durch die Zahl 6 ausgedrückt werden; ebenso muss der Abstand des Zinks vom Silber =  $5 + 1 + 3 + 2 + 1 = 12$  seyn. Volta will nun dieses Gesetz wirklich durch die Erfahrung mittelst seines Strohhalmelektrometers erwiesen haben, welches Verfahren jedoch kein sicheres Resultat geben kann, da (vergl. S. 659. 660.) die Grade dieses Elektrometers den Intensitäten der El. nicht genau proportional seyn können. Uebrigens folgt dieses Gesetz schon aus der vorhin angeführten, unzweideutigen Erfahrung, dass die Endglieder einer Reihe von Metallen stets sich so verhalten, wie wenn sie direct zusammengebracht würden. Wenn nemlich K, Z, K' eine Combination von drei verschiedenen Metallen ist, und K durch seine Berührung mit Z, Z durch seine Berührung mit K' dieselbe Art von El., z. B. + E., erhält, so nimmt, der Erfahrung zufolge, K dieselbe Intensität von El. an, wie wenn es K' unmittelbar berührte. Die + E., welche K annimmt, ist gleich der Summe der + E., welche K durch seine Berührung mit Z, und der + E., welche Z durch seine Berührung mit K' erhält, und welche letztere sich auch gleichförmig auf K verbreitet; mithin ist

die Summe dieser Elektricitäten, d. h. der Abstand von K und Z, plus der Abstand von Z und K', der El., welche K in Berührung mit K' erhält, d. h. dem Abstand von K und K' gleich. Dieses gilt auf gleiche Weise für andere Fälle, wo andere, oder wo mehr Glieder zwischen die Endglieder eingeschoben werden: das galvanische Spannungsgesetz hat mithin allgemeine Gültigkeit, und man hat nicht nöthig, dasselbe durch directe Erfahrungen zu erweisen.

---

## V o l t a s c h e   S ä u l e .

---

### O f f e n e   S ä u l e .

Wir haben gesehen, dass durch die Uebereinanderschichtung mehrerer Plattenpaare in der Ordnung: Zink, Kupfer; Zink, Kupfer; Zink, Kupfer; u. s. f. die schwache Wirkung eines einzigen Elektromotors auf den Condensator nicht verstärkt wird, indem die Endglieder einer solchen, blos aus Metallen bestehenden Säule, nicht stärker und nicht schwächer elektrisch werden, als wenn sie einander direct berühren würden; die Wirkung eines einzelnen Plattenpaars auf den Condensator wird aber ausserordentlich verstärkt, wenn man mehrere Plattenpaare in der angegebenen Ordnung auf einander schichtet und zwischen je zwei Paare einen feuchten Leiter einbringt. Diese Entdeckung, ihren Folgen nach unstreitig die wichtigste des 19ten Jahrhunderts, ist von Volta, daher eine solche Säule *Volta'sche Säule* heisst.

Betrachten wir zuerst den Fall, wo nur zwei Plattenpaare, aus Kupfer und Zink, durch einen feuchten Leiter f (z. B. eine mit Wasser befeuchtete Tuch- oder Papp-Scheibe) von einander getrennt, mit einander combinirt werden, und wo die unterste (Kupfer) Scheibe mit dem Boden

in leitende Verbindung gesetzt wird; nennen wir ferner die Kupfer- und Zink-Scheibe des untern Plattenpaares beziehungsweise  $c_1$ ,  $z_1$ , des oberen Plattenpaares  $c_2$ ,  $z_2$ . Das Zink  $z_1$  nimmt durch seine Berührung mit dem Kupfer  $c_1$  + El. an, deren Intensität man irgend einer Zahl, z. B. der Zahl 1 gleich setzen kann. Diese Intensität verbreitet sich gleichförmig (es ist hier durchaus *blos* von der freien, nicht von der an den Berührungsflächen gebundenen El. die Rede, welche letztere, da die Platten auf einander liegen bleiben, gar nicht in Betracht kommt) auch über den feuchten Leiter  $f$  und über  $c_2$  und  $z_2$  aus, so dass  $c_2$  und  $z_2$  positive El. von der Intensität = 1 von  $z_1$  aus *mitgetheilt* erhalten. Dagegen kann sich die + El. von  $z_1$  der Platte  $c_1$  nicht mittheilen, mithin nicht durch den Boden abgeleitet werden, weil sie daran durch die elektromotorische Kraft selbst verhindert wird (vergl. S. 686. Anmerk.). Die negative El. von  $c_1$  ist aber, wegen der Verbindung von  $c_1$  mit dem Boden, = Null.

Betrachten wir nun den Zustand dieser beiden Plattenpaare mit dem feuchten Zwischenleiter, sofern er *blos* von der elektromotorischen Wirkung des *unteren* Paares abhängig ist, so ist er folgender:

$$\begin{array}{l} \text{Oberes Plattenpaar} \\ \text{Feuchter Zwischenleiter} \\ \text{Unteres Plattenpaar} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} z_2 = + 1 \\ c_2 = + 1 \\ f = + 1 \\ z_1 = + 1 \\ c_1 = 0 \end{array} \right.$$

Nun erhält aber  $c_2$  des zweiten Plattenpaares, vermöge seiner Berührung mit  $z_2$  eine negative El. = - 1 und  $z_2$ , vermöge derselben Berührung, eine positive El. = + 1, aber diese negative El. = - 1 von  $c_2$  wird durch den feuchten Leiter, durch  $z_1$  und  $c_1$  nach dem Boden abgeleitet, und es ist gerade so, als ob  $c_2$  gar keine El. annähme, während dagegen die positive El. = + 1, welche  $z_2$  durch seine Berührung mit  $c_2$  erhält, wegen des durch die elek-

tromotorische Kraft gegebenen Hindernisses, durch  $c_2$  hindurch sich nicht verbreiten kann. Nimmt man daher auch die Wirkung der elektromotorischen Kraft des zweiten Plattenpaars in Rechnung, so ergibt sich folgender elektrischer Zustand der beiden Plattenpaare:

$$\begin{array}{l} \text{Oberes Plattenpaar} \quad \left\{ \begin{array}{l} z_2 = 1 + 1 = + 2 \\ c_2 \quad \quad \quad = + 1 \end{array} \right. \\ \text{Feuchter Zwischenleiter} \quad [ f_r \quad \quad \quad = + 1 \\ \text{Unteres Plattenpaar} \quad \left\{ \begin{array}{l} z_1 \quad \quad \quad = + 1 \\ c_1 \quad \quad \quad = 0 \end{array} \right. \end{array}$$

Sind es drei Plattenpaare, deren drittes wiederum von dem zweiten durch einen feuchten Zwischenleiter getrennt ist, so ist der elektrische Zustand der Säule folgender:

$$\begin{array}{l} \text{Oberstes Plattenpaar} \quad \left\{ \begin{array}{l} z_3 = + 3 \\ c_3 = + 2 \end{array} \right. \\ \text{Feuchter Leiter} \quad [ f_{rx} = + 2 \\ \text{Mittleres Plattenpaar} \quad \left\{ \begin{array}{l} z_2 = + 2 \\ c_2 = + 1 \end{array} \right. \\ \text{Feuchter Leiter} \quad [ f_r = + 1 \\ \text{Unterstes Plattenpaar} \quad \left\{ \begin{array}{l} z_r = + 1 \\ c_1 = 0 \end{array} \right. \end{array}$$

Allgemein: wenn die Zahl der auf die angegebene Weise aufgeschichteten Plattenpaare, wobei die unterste (Kupfer) Platte mit dem Boden in leitender Verbindung steht,  $= n$  ist, so wird der elektrische Zustand der Kupferplatte des obersten Paares durch die Zahl  $+(n-1)$ , und der elektrische Zustand der Zinkplatte des obersten Paares durch  $+n$  ausgedrückt.

Die Endplatten einer voltaschen Säule, oder die an dieselben angefügten Drähte nennt man die *Pole* der Säule, und aus dem Vorhergehenden ergibt sich, dass wenn der eine Pol der Säule und zwar der Kupferpol, mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt wird, die Quantitäten *freier* positiver Elektricität von unten nach oben in einer

arithmetischen Progression zunehmen müssen, und dass diese Verstärkung ins Unbestimmte oder doch so weit müsse getrieben werden können, bis die el. Intensität der obersten Platte so stark würde, dass ihre El. nicht mehr durch den Druck der Luft zurückgehalten werden könnte, mithin ein Ausströmen von El. statt finden müsste, gerade wie sich auch ein Conductor nur bis auf einen solchen Grad der Intensität laden lässt, welcher dem Druck der Luft das Gleichgewicht hält. Man hat jedoch bis jetzt noch nie eine Säule mit so vielen Plattenpaaren aufgebaut, dass diese Gränze erreicht wurde. — Es ist klar, dass wenn die Säule in umgekehrter Ordnung aufgebaut wird, so dass Zink die unterste Platte darstellt, welche mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt wird, die Säule mit abnehmender Stärke von Oben nach Unten *negativ* elektrisch wird.

In der That lässt sich durch die Erfahrung nachweisen, wenn man den einen Pol einer solchen Säule, deren anderer mit dem Erdboden in leitender Verbindung steht, mit dem Condensator in Verbindung setzt, dass die Elektrizität mit der Anzahl der Plattenpaare gleichförmig wächst, wiewohl es bis jetzt noch nicht durch genaue Versuche erwiesen ist, dass diese Zunahme der Elektrizität wirklich nach einer arithmetischen Progression, wie sie die Theorie anzeigt, statt findet.

Es ist ferner durch Versuche erwiesen, dass die elektrische Spannung voltascher Säulen von der Grösse der Plattenpaare unabhängig ist, ein Resultat, welches ebenfalls unmittelbar aus der Theorie sich ergibt, dass also für alle Wirkungen der Säule, welche von der *Spannung* der El. ihrer Pole abhängig sind, die Grösse der Platten gleichgültig und nur die *Anzahl* der Paare von Einfluss ist.

Selbst die Natur des flüssigen Leiters scheint an und für sich für die Spannung, welche die Endplatten der Säule annehmen, von keinem Einfluss zu seyn; die endliche Ladung derselben scheint nemlich bei Anwendung verschieden



gut leitender Flüssigkeiten die gleiche zu seyn, und bei schlechter leitenden Flüssigkeiten nur eine längere Zeit zur Ladung erfordert zu werden. So fand namentlich Biot, dass bei gleicher Anzahl von Plattenpaaren, die endliche Ladung der Pole die gleiche war, wenn entweder Wasser, oder Auflösungen von Kochsalz, von Salmiak, von chloresurem Kali, von Alaun oder von Eisenvitriol als feuchte Zwischenleiter angewandt wurden. Wenn dieses nicht der Fall ist, so scheint der Grund darinn zu liegen, dass die Metalle durch die Einwirkung des feuchten Zwischenleiters eine Veränderung erleiden, mit welcher auch das elektromotorische Verhältniss derselben und damit die Intensität der elektrischen Ladung nothwendig sich verändern muss.

Betrachten wir nun aber den elektrischen Zustand einer voltaschen Säule, deren beide Pole isolirt sind, so finden wir, dass er sehr verschieden ist von dem elektrischen Zustand einer Säule, von welcher der eine der beiden Pole mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt, der andere isolirt ist.

Wir erhalten z. B. bei 4 Plattenpaaren folgendes Schema:

$$\begin{array}{l}
 \text{IV.} \left\{ \begin{array}{l} z_4 = + 1 + 1 + 1 + 1 = + 4 \\ c_4 = + 1 + 1 + 1 - 1 = + 2 \end{array} \right. \\
 \text{III.} \left\{ \begin{array}{l} z_3 = + 1 + 1 + 1 - 1 = + 2 \\ c_3 = + 1 + 1 - 1 - 1 = 0 \end{array} \right. \\
 \text{II.} \left\{ \begin{array}{l} z_2 = + 1 + 1 - 1 - 1 = 0 \\ c_2 = + 1 - 1 - 1 - 1 = - 2 \end{array} \right. \\
 \text{I.} \left\{ \begin{array}{l} z_1 = + 1 - 1 - 1 - 1 = - 2 \\ c_1 = - 1 - 1 - 1 - 1 = - 4 \end{array} \right.
 \end{array}$$

Die unterste Kupferplatte  $c_1$  erhält durch ihre Berührung mit  $z_1$  freie negative El., deren Intensität wir  $= 1$  setzen wollen. Von allen über ihr gelegenen Zinkplatten kann der Platte  $c_1$  keine positive El. mitgetheilt werden, weil diese positiven Elektricitäten, vermöge des Hindernisses, welches die elektromotorische Kraft selbst ihrer Bewegung in den

Weg legt, nicht durch die mit ihnen verbundenen Kupferplatten hindurch zu der Platte  $c_x$  dringen können. Dagegen erhält die Platte  $c_x$  von jeder über ihr gelegenen Kupferplatte freie negative El. von der Intensität  $= -1$  mitgetheilt, weil diese Elektricitäten, nicht gehindert durch eine elektromotorische Kraft, durch die feuchten Leiter und die Metalle hindurch frei nach unten zu gegen die Platte  $c_x$  sich ausbreiten können. Ein ähnliches Raisonement gilt für alle übrigen Platten, und es ist z. B. klar, dass wenn eine Platte eine negative El. von der Intensität  $-3$  und zugleich eine positive von der Intensität  $+1$  erhält, ihr elektrischer Zustand durch  $-2$  ausgedrückt werden, so wie, dass wenn eine Platte eine negative El.  $= -2$  und zugleich eine positive El.  $= +2$  erhält, ihr elektrischer Zustand  $= 0$  seyn muss,

In dem so eben angeführten Fall war die Zahl der Plattenpaare eine gerade. Ist die Zahl der Plattenpaare eine ungerade, und besitzt also die Säule ein mittleres Plattenpaar, so gibt es keine Platte in ihr, deren El.  $= \text{Null}$  ist, sondern von den beiden Platten des mittleren Paares erhält die eine positive El.  $= +1$ , die andere negative El.  $= -1$ ; dieses mittlere Paar befindet sich in demselben elektrischen Zustande, in welchem es sich befinden würde, wenn es gar kein Glied einer Säule ausmache, sondern blos seiner eigenen elektromotorischen Kraft überlassen wäre. Dieses ergibt sich aus folgenden beiden Schemas, wobei ich der bequemeren Uebersicht wegen, diejenige El. neben das Zeichen der Platte unmittelbar stelle, welche die Platte vermöge ihrer eigenen elektromotorischen Kraft erhält, hierauf diejenige El. folgen lasse, welche die Platte von unten herauf, und dann diejenige, welche sie von oben herab mitgetheilt erhält.

## Schema für 3 Plattenpaare.

$$\begin{aligned} \text{III. } & \begin{cases} z_3 = +1 + 1 + 1 = +3 \\ c_3 = -1 + 1 + 1 = +1 \end{cases} \\ \text{II. } & \begin{cases} z_2 = +1 + 1 - 1 = +1 \\ c_2 = -1 + 1 - 1 = -1 \end{cases} \\ \text{I. } & \begin{cases} z_1 = +1 - 1 - 1 = -1 \\ c_1 = -1 - 1 - 1 = -3 \end{cases} \end{aligned}$$

## Schema für 5 Plattenpaare.

$$\begin{aligned} \text{V. } & \begin{cases} z_5 = +1 + 1 + 1 + 1 + 1 = +5 \\ c_5 = -1 + 1 + 1 + 1 + 1 = +3 \end{cases} \\ \text{IV. } & \begin{cases} z_4 = +1 + 1 + 1 + 1 - 1 = +3 \\ c_4 = -1 + 1 + 1 + 1 - 1 = +1 \end{cases} \\ \text{III. } & \begin{cases} z_3 = +1 + 1 + 1 - 1 - 1 = +1 \\ c_3 = -1 + 1 + 1 - 1 - 1 = -1 \end{cases} \\ \text{II. } & \begin{cases} z_2 = +1 + 1 - 1 - 1 - 1 = -1 \\ c_2 = -1 + 1 - 1 - 1 - 1 = -3 \end{cases} \\ \text{I. } & \begin{cases} z_1 = +1 - 1 - 1 - 1 - 1 = -3 \\ c_1 = -1 - 1 - 1 - 1 - 1 = -5 \end{cases} \end{aligned}$$

Vergleichen wir nun den elektrischen Zustand einer voltaschen Säule, die an beiden Polen isolirt ist, mit dem elektrischen Zustand einer an einem Pole nach dem Erdboden abgeleiteten Säule, so ergeben sich folgende Verschiedenheiten:

In der letzteren Säule findet sich ihrer ganzen Länge nach *nur eine Art von El.*, und zwar positive oder negative, je nachdem der mit dem Boden in Verbindung gesetzte Pol der negative (Kupfer) oder der positive (Zink) Pol ist, und diese El. nimmt von unten nach oben (insofern der untere Pol der abgeleitete ist) in einer arithmetischen Progression zu. Die an beiden Polen isolirte Säule dagegen hat *beiderlei Arten von El.*, und zwar an beiden Polen die entge-

gengesetzte, und von der stärksten Intensität. Von beiden Polen gegen die Mitte zu nimmt die El. gleichförmig ab, und ist in dieser Mitte selbst = Null, wenn die Zahl der Plattenpaare eine gerade ist, in welchem Fall dann die beiden mittelsten, zweien verschiedenen Plattenpaaren angehörigen Platten der Säule OE zeigen; ist dagegen die Anzahl der Plattenpaare eine ungerade, so gibt es keine Platte mit OE.: die El. der Platten des mittleren Paares ist =  $+1$  und =  $-1$ , und zwar hat die dem negativen Pol zu gelegene Platte  $-1$ , die dem positiven Pol zu gelegene  $+1$ .

Was die Intensität der El. an den Polen einer isolirten Säule, und an dem isolirten Pol einer Säule, deren anderer Pol mit dem Erdboden in Verbindung steht, betrifft, so könnte es nach der vorhergehenden Darstellung scheinen, als ob diese Intensitäten bei gleicher Anzahl der Plattenpaare gleich gross wären: in der That ist aber die Intensität der El. eines Pols der an beiden Polen isolirten Säule nur halb so gross, als die Intensität der El. des isolirten Pols einer Säule, deren anderer mit dem Erdboden in Verbindung steht. Wir haben nemlich S. 677. gesehen, dass wenn bei einem einzigen Plattenpaar die eine Platte mit dem Erdboden in Verbindung steht, die El. der andern Platte auf das Doppelte steigt: wenn wir daher die negative El. des Kupfers  $c_1$  eines aus Kupfer und Zink bestehenden Plattenpaares =  $-1$  und die positive des Zinks  $z_1 = +1$  setzen, so wird, wenn  $c_1$  mit dem Boden in Verbindung steht, die positive El. von  $z_1$  in der That  $+2$  seyn, und dieses wird für alle Plattenpaare einer Säule gelten, deren Kupferpol abgeleitet ist, weil dann die negative El. eines jeden Plattenpaares durch den feuchten Leiter u. s. f. hindurch gleichfalls nach dem Erdboden abgeleitet wird. Da nun die positive El. des Zinkpols aus der Summirung der positiven Elektricitäten der einzelnen Plattenpaare hervorgeht, so muss die Intensität des Zinkpols einer am Kupferpol abgeleiteten Säule dop-

pelt so gross seyn, als die Intensität derselben Säule, deren Kupferpol gleichfalls isolirt ist. Wenn daher der eine Pol einer zuvor an beiden Polen isolirten Säule mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt wird, so steigt die Intensität des andern Pols auf das Doppelte.

Es lassen sich übrigens diese Resultate der Theorie nicht in allen Fällen gleich gut durch die Erfahrung nachweisen, was jedoch die Theorie selbst voraussagt. Die beiden Endplatten einer Säule können als die zwei Platten eines einzelnen Plattenpaares betrachtet werden, denn sie verhalten sich in der That ganz wie ein einzelnes Plattenpaar. So wie nemlich die El. einer von einer Kupferplatte berührten Zinkplatte z. B. auf das Doppelte steigt, wenn die Kupferplatte mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt wird, so steigt auch die El. des Zinkpols einer Säule auf das Doppelte, wenn die El. des Kupferpols durch den Erdboden abgeleitet wird: bei dem einzelnen Plattenpaar, wie bei den Polen der Säule bleibt sich die *Summe* der El. (wenn man von dem + und - Zeichen absieht) gleich, die eine Platte des einzelnen Paares oder der eine Pol der Säule mag isolirt seyn oder nicht. Ueberhaupt aber stehen die Intensitäten der El. der beiden Platten eines einzelnen Paares so wie der Endplatten einer Säule im umgekehrten Verhältniss ihrer Ableitungsgrössen, d. h. der Oberflächen, über welche sich die El. von der Berührungsfläche aus verbreiten kann: ist daher die eine Platte eines einzelnen Paares, oder der eine Pol einer Säule mit dem Erdboden in leitender Verbindung, so wird hier die Ableitungsgrösse unendlich gross und mithin die El. = 0, während sie an der andern Platte oder Pol aufs Doppelte steigt, weil die Summe der El. gleich bleibt. Sind beide Platten oder beide Pole einer Säule mit dem Erdboden in gleich guter leitender Verbindung, so zeigen beide am Condensator El., weil, der unendlich grossen Ableitung bei beiden ungeachtet, diese

Ableitung doch für beide sich gleich verhält. Ist dagegen die eine Platte oder der eine Pol mit dem Boden in besserer leitender Verbindung als die andere Platte oder der andere Pol, so zeigen sich die ersteren, am Condensator geprüft, stets schwächer elektrisch als die letzteren, und dieses kann so weit gehen, dass die ersteren gar keine merkbare EL. zu erkennen geben.

Prüft man daher die Spannung der EL. eines Pols einer *isolirten* Säule mittelst des Condensators, so erhält dieser Pol durch den Condensator, der eine grosse Capacität für EL. hat, eine sehr bedeutende Ableitung, während dem andern Pol keine solche gegeben wird; es kann daher, zumal bei kleineren Säulen, der Fall eintreten, dass man mittelst des Condensators, seiner condensirenden Wirkung ungeachtet, doch eine schwächere EL. erhält als ohne denselben, und dass es daher von Nachtheil ist, an den Pol einer solchen isolirten Säule einen Condensator anzubringen. Besteht aber eine Säule aus einer sehr grossen Anzahl von Plattenpaaren, so kann der Condensator allerdings verstärkend wirken, weil, während dann die Ableitung durch den Condensator relativ nicht sehr verstärkt wird, (insofern, während der Condensator für die Platten, die nach dem mit ihm in Berührung befindlichen Pol zu liegen, eine Ableitung darbietet, die entgegengesetzten Platten nach dem andern Pol zu durch die Menge der Platten selbst immer noch eine relativ nicht viel geringere ableitende Oberfläche finden) die condensirende Wirkung des Condensators über die Schwächung, welche durch die mit ihm gegebene grössere Ableitung herbeigeführt wird, die Oberhand behält.

Ist aber der eine Pol einer Säule *nicht* isolirt, so übt ein am andern Ende angebrachter Condensator seine condensirende Wirkung vollständig aus, insofern gegen die unendlich grosse Ableitung an dem nicht isolirten Pol, die durch den Condensator bewirkte Ableitung verschwindet. Wenn daher bei kleinen, an beiden Polen isolirten Säulen der Con-

densator gar keine Wirkung wahrnehmbar macht, so bringt er dagegen bei denselben, aber an einem Pol nicht isolirten Säulen, eine sehr starke Wirkung hervor. — Mittelst eines kräftigen Condensators kann man sogar bei Säulen von geringer Anzahl von Plattenpaaren hinlänglich starke Zeichen von El. erhalten, um sie bei Tage in sichtlichen Funken hervorbrechen zu sehen.

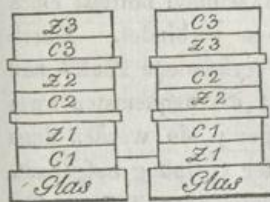
Auf gleiche Weise wie ein Condensator, lässt sich auch eine Leidner Flasche oder Batterie durch einen Pol der voltaschen Säule laden, und zwar bis zu einer solchen Stärke, dass die Intensität der freien El., welche die mit dem Pol der Säule in Verbindung gesetzte Belegung der Flasche oder Batterie annimmt, gleich ist der el. Intensität dieses Pols. Ebenso lassen sich die elektrischen Anziehungen und Abstossungen an einer voltaschen Säule nachweisen, wenn man die einen Enden zweier Metalldrähte, an deren anderen Enden Goldblättchen parallel neben einander aufgehängt sind, mit den beiden entgegengesetzten Polen einer Säule in Verbindung setzt.

---

Von der zweckmässigen Construction voltascher Säulen wird erst später ausführlicher die Rede seyn können; ich will übrigens schon hier einige Bemerkungen in dieser Beziehung machen. Man errichtet sie gewöhnlich aus Kupfer- und Zink-Platten, die am besten zusammengelöthet und abwechselnd mit einem feuchten Leiter (Scheiben von Tuch oder Pappe, die man mit verschiedenen Flüssigkeiten befeuchtet) aufgeschichtet werden. Da jedoch, wie wir gesehen haben, die bei der Berührung sich entwickelnde und während dieser Berührung gebundene El. bei der Wirkung einer solchen Säule nicht in Betracht kommt, so ist es auch nicht nöthig, dass sich die Kupfer- und Zink-Platten an vielen Punkten berühren. Da ferner das Kupfer im Allge-

meinen von den feuchten Leitern wenig angegriffen wird, so brauchen die Kupferplatten nicht bedeutend dick zu seyn. Das Zink wird zwar viel stärker angegriffen und verliert daher durch das häufig nöthig werdende Scheuren bald viel von seiner Masse; demungeachtet dürfen auch die Zinkplatten nicht allzu dick genommen werden, weil bei so grossem Gewicht der Metalle die Flüssigkeit aus den feuchten Leitern in demselben Verhältniss stärker herausgedrückt wird, und dadurch die Säule an Wirksamkeit verliert. Aus demselben Grunde ist es auch nicht zweckmässig, eine, zumal aus sehr vielen Plattenpaaren bestehende, Säule zu Einer verticalen Säule aufzuthürmen, wenn man sie gleich durch ein passendes Gestell aus etwa 3 hölzernen Stäben gegen das Umfallen sichern könnte; vielmehr thut man besser, aus vielen Plattenpaaren *mehrere* Säulen aufzubauen, und diese dann auf eine solche Weise mit einander in Verbindung zu setzen, dass Alle mit einander gleichsam eine einzige Säule darstellen. Dieses geschieht auf die Weise, dass man den isolirten negativen Pol einer Säule mit dem isolirten positiven Pol einer andern durch einen Metallstreifen oder einen Metalldraht in Verbindung setzt: die beiden Säulen sind dann, wie sich aus der Betrachtung der Folge der Metallplatten ergibt, als Eine zu betrachten, deren einen, positiven Pol die erste, den andern, negativen Pol die zweite Säule bildet.

Beide Säulen werden z. B. auf einer Unterlage von Glas aufgeschichtet: die erste mit ihrem negativen (Kupfer) Pol nach unten, die zweite mit ihrem positiven (Zink) Pol nach unten. Bei dieser Vorrichtung hat dann die erste Säule ihren positiven

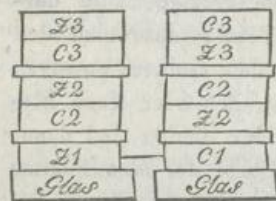


(Zink) Pol nach oben, die zweite ihren negativen (Kupfer) Pol ebenfalls nach oben, und die beiden oberen in die Luft eingetauchten Pole dieser Säulen sind durch diese isolirt,



während die beiden unteren durch Glas isolirten Pole mittelst eines Metallstreifens in Verbindung gesetzt werden, so dass beide Säulen jetzt nur Eine Säule darstellen, deren beide Pole durch die Luft isolirt sind, und von welcher die erste Säule den einen, positiven, die zweite den andern, negativen Pol bildet.

Es ist klar, dass man bei dieser Anordnung die Wirkung von einem Plattenpaar verliert; denn da die Kupferplatte des untersten Plattenpaares der ersten Säule mit der Zinkplatte des untersten Plattenpaares der zweiten Säule in metallischer Verbindung steht, so ist (vergl. S. 689.) die Wirkung gerade so, als wenn die unterste Kupferplatte der ersten und die unterste Zinkplatte der zweiten Säule gar nicht vorhanden wären, und die Zinkplatte des untersten Plattenpaares der ersten Säule, die Kupferplatte des untersten Plattenpaares der zweiten Säule unmittelbar berührte. Man kann



jedoch die Wirkung dieses einen Plattenpaares, welche bei dieser Anordnung verloren gehen müsste, dadurch gewinnen, dass man eine blosse Zinkscheibe (nicht ein ganzes Plattenpaar) zum untersten Glied der ersten, und eine blosse

Kupferscheibe zum untersten Glied der zweiten Säule macht, und diese Kupferscheibe mit jener Zinkscheibe mittelst eines an beiden angelötheten Metallstreifens verbindet. Durch solche mittelst eines Metallstreifens verbundene Zink- und Kupfer-Platten lassen sich überhaupt am bequemsten zwei oder mehrere Säulen zu Einer verbinden; sie werden dann abwechselungsweise in entgegengesetzter Ordnung aufgebaut. Die Säulen ruhen auf möglichst gut isolirenden Trägern \*).

\*) Eine gute Isolation wird übrigens blos dann erfordert, wenn es sich von den sogenannten elektroskopischen Wirkungen

Wenn man umgekehrt zwei Säulen, deren beide Pole isolirt sind, nicht durch zwei ungleichnamige, sondern durch zwei gleichnamige Pole mit einander in Verbindung setzt, so ist es, da ihre Schichtungen nun in umgekehrter Ordnung auf einander folgen, klar, dass die Spannung an den beiden nicht verbundenen Polen nur so gross seyn kann, wie sie eine Säule geben würde, deren Plattenzahl der Differenz der Plattenzahlen beider Säulen gleich wäre, dass daher diese Spannung = Null würde, wenn die Zahl der Platten beider Säulen gleich wäre. Hieraus ergibt sich auch, dass wenn man einige Plattenpaare beim Aufbauen einer Säule in verkehrter Ordnung legt, dadurch nicht die ganze Wirkung der Säule aufgehoben wird, sondern dass ein verkehrt gelegtes Plattenpaar blos die Wirkung eines recht gelegten aufhebt, so dass z. B., wenn bei einer Säule von 12 Plattenpaaren ein Paar verkehrt gelegt wird, die Säule die Wirkung einer 10 paarigen hat, in welcher alle 10 Paare recht liegen.

Wenn man dagegen von zwei neben einander stehenden gleich hohen Säulen, nicht blos, wie vorhin, zwei der gleichnamigen Pole, sondern zugleich auch die beiden andern mit einander in Verbindung setzt, und wenn man nun eine jede dieser Polcombinationen als Einen Pol betrachtet, so ist es klar, dass man eine Säule von der doppelten Plat-

---

der Säule, von der *Spannung ihrer Pole* handelt, also von Wirkungen, die, wie wir später sehen werden, die minder wichtigen sind. Wird dagegen die Säule zur Zersetzung chemischer Verbindungen, oder zur Hervorbringung von Hitze u. s. f. angewendet, zu welchem Zwecke ihre Pole in leitende Verbindung mit einander gesetzt werden, so hat man, wie aus dem Folgenden erhellen wird, für eine genaue Isolirung ihrer metallischen Glieder nicht ängstlich Sorge zu tragen.

*tengrösse* aber von derselben *Plattenzahl*, wie jede der einzelnen Säulen erhält. Wenn nemlich z. B. die unterste Platte einer jeden Säule Kupfer ist, so empfängt diese die negativen EE. von allen über ihr befindlichen Kupferplatten; auf gleiche Weise empfangen die obersten (Zink) Platten die positiven EE. von den unter ihnen gelegenen Zinkplatten. Werden daher die beiden untersten Kupfer- und die beiden obersten Zinkplatten zu Einer Platte verbunden, so erhalten diese doppelten Kupfer- und Zinkplatten auch doppelt so viel El., deren Spannung aber, da die El. auf einer doppelten Oberfläche verbreitet ist, dieselbe bleibt, wie bei der einfachen Säule; wie denn überhaupt die Spannung an den Polen einer Säule durch Vergrösserung der Oberfläche der einzelnen Platten nicht vergrössert wird, und nur mit der *Anzahl* der Platten wächst.

Wenn nun aber gleich durch Combination von zwei oder mehreren Säulen zu Einer auf die angeführte Weise die Spannung an den Polen nicht verstärkt wird, so werden dagegen, wie wir bald sehen werden, gewisse Wirkungen der Säule, die von der *Grösse* der Platten abhängen, in hohem Grade verstärkt, und eine solche Combination kann daher in gewissen Fällen sehr nützlich seyn.

Wenn aber die mit einander in Verbindung gesetzten gleichnamigen oder ungleichnamigen Pole der Säule zugleich mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt werden, so ist es gerade so, als ob die Pole mit einander selbst gar nicht in Verbindung gesetzt wären; die gegenseitige Beziehung der Säulen zu einander hört mit Aufhebung der Isolirung der Pole ganz auf: jede Säule ist als eine an dem einen ihrer Pole *nicht isolirte* Säule zu betrachten und wirkt als solche, indem von dem nicht isolirten Pol an, die El. nach der oben erwähnten arithmetischen Progression zunimmt. Hieraus folgt auch, dass wenn man irgendwo an einer, an beiden Polen isolirten Säule, zwischen diesen Polen eine Ablei-

Ableitung nach dem Erdboden anbringt, die Säule in zwei Säulen getheilt wird, die an dem abgeleiteten Punkt zusammenstossen, sonst aber in keiner Beziehung zu einander stehen, indem sich eine jede Säule so verhält, als ob die jenseits des abgeleiteten Punkts liegenden Plattenpaare nicht vorhanden wären. Von diesem Punkt, dessen El. Null ist, abwärts und aufwärts, nehmen die Elektricitäten nach der erwähnten arithmetischen Progression zu, und es ist klar, dass derjenige Pol der stärkere ist, welcher von dem abgeleiteten Punkt am weitesten entfernt liegt, weil er einer Säule von einer grösseren Anzahl von Plattenpaaren angehört.

Alle elektroskopische Verhältnisse der Säule hängen, wie schon bemerkt wurde, von der freien El. ab, die sich auf den Oberflächen der einander berührenden Metallplatten verbreitet, indem die an den Berührungsflächen gebundene El. dabei gar nicht in Betracht kommt. Fechner hat das Verhältniss der freien zu der gebundenen El. mittelst der Säule selbst auf eine sehr einfache Weise erörtert. Er errichtete eine Säule aus 20 Plattenpaaren von Kupfer und Zink, und bediente sich des Wassers als feuchten Leiters; die oberste Zinkplatte war glatt abgeschliffen. Wurde nun diese oberste Zinkplatte *mit der Ecke* einer eben so grossen isolirt gehaltenen Kupferplatte wiederholt berührt und die von der Kupferplatte erlangte El. jedesmal an den Condensator übertragen, so gab dieser + E. zu erkennen. Wegen der kleinen Berührungsfläche des Kupfers mit dem Zink ist nemlich die -El., welche das Kupfer *vermöge seiner Berührung mit Zink* annimmt, höchst unbedeutend und ausser Acht zu lassen, und die von dem positiv elektrischen Zink dem Kupfer *mitgetheilte* + El. bestimmt den Erfolg. Berührt man nun aber die oberste Zinkplatte der Säule nicht blos mit einer Ecke, sondern mit der *ganzen Fläche* der Kupferplatte, so gibt nach einigemal wiederholter Uebertragung der

Condensator starke *negative* El. zu erkennen, weil jetzt der Erfolg von der während der Berührung des Kupfers mit dem Zink gebundenen, nach der Entfernung beider von einander aber in Freiheit gesetzten negativen El. des Kupfers abhängt, welche, da die Berührungsflächen gross sind, über die von dem Zink dem Kupfer *mitgetheilte* + E. das Uebergewicht gewinnt. Es muss daher — und dieses bestätigt die Erfahrung — einen mittleren Grad der Berührungsgrösse geben, bei welchem die dem Kupfer von dem Zink mitgetheilte + El. und die von dem Kupfer vermöge seiner Berührung mit dem Zink erhaltene — El. einander ausgleichen und mithin der Condensator nicht geladen wird. Bei viel *grösseren* Säulen würde die Intensität des Pols so stark werden, dass die während der Berührung der Kupferplatte mit dem Zinkpol gebundene, und nach Abhebung der ersteren in Freiheit gesetzte — E. unter keinerlei Umständen über die von dem Zinkpol der Kupferplatte *mitgetheilte* + E. das Uebergewicht erhalten könnte.

#### Geschlossene Kette; geschlossene Säule.

Die bisher betrachteten Wirkungen der Säule waren Wirkungen einer *offenen Säule*, d. h. einer solchen, deren Pole nicht in leitende Verbindung mit einander gesetzt sind. Es waren bloss *elektroskopische* Wirkungen, die insofern kein besonderes Interesse darbieten, als sie die Contact-Elektricität, worauf sie sich gründen, nicht eigentlich charakterisiren, indem die gleichen Wirkungen auch durch jede andere Art von El.-Erregung hervorgebracht werden. Nur die Umstände, unter welchen diese Wirkungen sich äussern, haben etwas Eigenthümliches: ein Condensator, eine Leidner Flasche, die mit dem Pol einer Säule in Berührung gebracht wird, ladet sich gleichsam *augenblicklich*, während z. B. mehrere Umdrehungen einer Elektrisirmaschine erfordert werden, um eine Leidner Flasche zu laden. Dieses

rührt von der ausserordentlichen Schnelligkeit her, mit welcher die einem Pol der Säule entzogene EL. sich wieder ersetzt, insofern der feuchte Leiter die EL. hinreichend gut leitet.

Bei weitem die wichtigsten Wirkungen äussert die Säule erst dann, wenn ihre Pole in leitende Verbindung mit einander gesetzt werden: chemische, durch andere Mittel miteinander äusserst schwierig zersetzbare Verbindungen lassen sich dann durch die Einwirkung der Säule zersetzen, wenn sie einen Theil dieses Schliessungsbogens der Pole ausmachen; verschiedene Körper lassen sich bis zum Glühen erhitzen, schmelzen, und sofern die Luft Zutritt hat, verbrennen. So erst wird also die Säule für den Chemiker und Physiker zu einem höchst wichtigen Instrument.

Indem wir nun die Verhältnisse der *geschlossenen Säule* oder *Kette* betrachten, nehmen wir auch hier wieder vorerst an, dass die feuchten Leiter blos als *Leiter* der EL. von einem Plattenpaar zum andern wirken, und dass ihre eigene elektromotorische Kraft als Null betrachtet werden könne.

Den einfachsten Fall einer geschlossenen *Kette* bietet ein *einziges* Plattenpaar dar, dessen heterogene Metalle an einem oder mehreren Punkten einander berühren, während sie an andern Punkten mit einem flüssigen Leiter in Verbindung gesetzt werden. Eine solche geschlossene galvanische *Kette* nennt man eine *einfache Kette*. Man erhält eine solche *Kette* z. B., indem man zwischen eine Zink- und Kupferplatte ein feuchtes Papier einschiebt, jedoch so, dass sich die Platten noch an ihrem Rande berühren; oder indem man einen Zink- und Kupfer-Draht, oder solche Platten, in eine Flüssigkeit eintaucht, und ihre ausserhalb der Flüssigkeit befindlichen Theile sich berühren lässt; oder endlich sogar, indem man einer Zink- und Kupferplatte, die man an einem oder mehrerer Punkten zusammengelöthet

hat, ganz in die Flüssigkeit eintaucht. Durch die Berührung der heterogenen Metalle wird jetzt eben so gut El. entwickelt, als wenn die Kette offen, d. h. nicht durch eine Flüssigkeit geschlossen wäre. Indem nun, von der Berührungsstelle aus, + El. über das Zink hin durch den feuchten Leiter nach dem Kupfer, und - E. über das Kupfer durch den feuchten Leiter, nach dem Zink in *entgegengesetzter* Richtung sich ausbreitet, so finden diese entgegengesetzten Elektricitäten Gelegenheit, einander gegenseitig zu neutralisiren, und sie würden den Elektromotor im natürlichen Zustand zurücklassen, wenn dieser nicht, vermöge der beständig fortwirkenden elektromotorischen Kraft, von neuem El. entwickelte, in dem Maasse, als sich die früher entwickelten entgegengesetzten EE. neutralisirt haben. Diese neu entwickelten Elektricitäten bewegen sich in derselben Richtung wie zuvor: die positive nimmt ihren Weg über das Zink durch den feuchten Leiter nach dem Kupfer zu, die negative den entgegengesetzten über das Kupfer durch den feuchten Leiter nach dem Zink zu. Vermöge dieser immer sich erneuernden El.-Entwicklung findet eine *continuirliche Strömung entgegengesetzter Elektricitäten* von der Berührungsoberfläche aus nach entgegengesetzten Richtungen durch die Kette hindurch statt. Da man nicht bestimmen kann, an welchen Stellen der Kette die Neutralisation der positiven und negativen El. vor sich geht, so stellt man die Sache so dar, als ob jeder einzelne Strom von der Berührungsstelle der Metalle aus einen vollkommenen Kreis durchlief, so dass der positive Strom von dieser Berührungsstelle aus durch das Zink, den feuchten Leiter und das Kupfer bis an die Berührungsstelle, wo er jedenfalls durch die entgegengesetzte negative El. vollständig neutralisirt worden seyn muss, zurück, und den entgegengesetzten negativen Strom von der Berührungsstelle der Metalle durch das Kupfer, den feuchten Leiter und das Zink bis an dieselbe

Berührungsstelle zurück, die er ebenfalls nicht überschreiten kann, seinen Weg nimmt. Man ist übereingekommen, immer blos die Richtung des *positiven* Stroms anzudeuten, so dass, wenn von dem Strom in der Kette die Rede ist, immer darunter die Richtung zu verstehen ist, in welcher sich die positive El. bewegt, wobei es sich dann von selbst versteht, dass die negative El. in der entgegengesetzten Richtung die Kette durchläuft \*).

In Beziehung auf *Umstände, die auf den Strom in der Kette Einfluss haben könnten*, ist Folgendes zu bemerken:

1) Da die Quantität der El., welche sich von der Berührungsoberfläche zweier heterogener Metalle aus gleichförmig verbreitet, nicht abhängig ist von der *Grösse* dieser Berührungsoberfläche (S. 680.), so ist es auch bei der einfachen Kette gleichgültig, ob sich die Metalle in vielen oder wenigen Punkten metallisch berühren.

2) Da die freie El. der Endglieder einer Reihe aus beliebigen Metallen sich immer so verhält, als ob sich diese Endglieder direct berührten und die Zwischenglieder gar nicht vorhanden wären, so muss dieses auch für die geschlossene Kette gelten, d. h., wenn die Endglieder durch einen feuchten Leiter verbunden werden, so erhält man denselben Strom, den man erhalten würde, wenn die Zwischenglieder gar nicht vorhanden wären. Wenn wir z. B. die Reihe haben:

---

\*) In der *dualistischen Theorie* der El., welche wir zu Grunde legen, ist es etwas rein conventionelles, wenn man unter dem *Strom in der Kette* diejenige Richtung verstanden wissen will, in welcher sich die positive El. bewegt. In der *Franklinschen Theorie* dagegen, welche nur Eine Art von El. annimmt, und die Erscheinungen der  $+$  El. von einem relativen Ueberschuss, die Erscheinungen der  $-$  El. aber von einem relativen Mangel dieser El. ableitet, liegt dieser Annahme etwas Reelles zu Grunde, insofern dieser



Zink }  
 Silber }  
 Eisen }  
 Kupfer }

in welcher alle Metalle auf einander liegen, ohne durch feuchte Leiter von einander getrennt zu seyn, so zeigt das Zink und Kupfer dieselbe El., wie wenn sie sich unmittelbar, ohne Dazwischenkunft von Silber und Eisen, berührten. Verbindet man daher das Zink und das Kupfer mittelst eines feuchten (durch die Klammer vorgestellten) Leiters, so wird man dieselbe Wirkung erhalten, wie wenn Zink unmittelbar auf Kupfer läge, und der Strom wird daher von Oben nach Unten, d. h. vom Zink durch den feuchten Leiter zum Kupfer gehen.

3) Da die entgegengesetzten Elektricitäten, wenn sie einander gegenseitig zu neutralisiren streben, immer vorzugsweise dem kürzesten und besten Leiter folgen, so wird es keinen merklichen Einfluss auf die Wirkung der geschlossenen Kette haben, wenn man z. B. ein metallisches Glied derselben mit dem Finger berührt; überhaupt hat man für die Isolation derselben nicht ängstlich Sorge zu tragen (vergl. S. 704. Anmerk.).

Hierdurch werden nun die verschiedenen Einrichtungen, die man einer Kette geben kann, ohne ihre Wirksamkeit zu ändern, verständlich.

Man kann z. B. eine Zink- und Kupferplatte an die Enden eines Drahts von beliebiger Natur und Länge befestigen und dann die Platten in ein mit leitender Flüssigkeit gefülltes Gefäß eintauchen: die Wirkung ist (n<sup>o</sup>. 1 und 2)

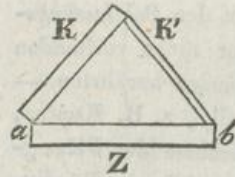
---

Theorie zufolge in der That an der Berührungsstelle des Kupfers und Zinks El. vom Kupfer in das Zink einströmt, und also nur Ein Strom, und zwar ein positiver, von der Berührungsstelle der Metalle aus durch das Zink, und den feuchten Leiter nach dem Kupfer zu die Kette durchläuft.

dieselbe, wie wenn dieser Draht, den man den *Schliessungsdraht* oder *Schliessungsbogen* nennt, gar nicht vorhanden wäre, und Zink und Kupfer direct einander berührten. — Man kann auch aus dem einen der Metalle, z. B. Kupfer, das Gefäss verfertigen, welches zur Aufnahme [der Flüssigkeit bestimmt ist, das andere (Zink) hierauf in die Flüssigkeit so eintauchen, dass es die Wandungen des Gefässes nicht berührt, und endlich die Verbindung beider Metalle (des kupfernen Gefässes und des Zinks) durch einen Draht herstellen.

Die elektroskopischen Anzeigen der einfachen (geschlossenen) Kette verhalten sich übrigens ganz so, wie die eines einfachen ungeschlossenen Elektromotors; d. h. ein Condensator wird durch die einfache geschlossene Kette eben so geladen, wenn man die eine Platte derselben mit dem Condensator berührt, während die andere mit dem Erdboden in Verbindung steht. Die Ursache hievon ist ohne Zweifel die, weil die Elektricitäten sich in den Metallen ohne Vergleich schneller entwickeln und über dieselben verbreiten, als sie sich durch den feuchten Leiter hindurch gegenseitig zu neutralisiren vermögen. — Von einer Platte einer geschlossenen einfachen Kette, deren andere Platte isolirt ist, erhält ein Condensator ebenso wenig merkliche El. mitgetheilt, als dieses bei dem ungeschlossenen Elektromotor der Fall ist.

Man könnte glauben, eine einfache Kette würde sich auch, anstatt durch eine Flüssigkeit, durch ein Metall schliessen lassen, und man würde auch so eine geschlossene Kette mit continuirlicher Strömung erhalten. Dass dieses aber unmöglich ist, zeigt eine einfache Betrachtung.



Wenn K und Z zwei sich bei a berührende Platten von Kupfer und Zink sind, und man bringt, statt eines schliessenden feuchten Leiters, einen kupfernen Verbindungsdraht K' an, der die Platten K, Z von einer andern Seite verbindet, so strömt der negative El., die sich von a über K und K' bewegt, eine gleich starke negative El. entgegen, die ihren Weg von b über K' und K nimmt; es kann also keine elektrische Strömung von a aus entstehen, denn weil die negative El., die von a über KK' sich bewegt, nicht durch eine in entgegengesetzter Richtung strömende positive El. neutralisirt wird, so hört alsbald die El. Entwicklung in a auf: es stellt sich, statt einer Strömung, vielmehr ein Gleichgewichtszustand in KK' her, vermöge dessen das ganze System KK' einen gleichförmigen fixen Zustand von negativer El. behaupten muss. Aus demselben Grunde muss auch Z einen fixen positiv-elektrischen Zustand annehmen. Dieser Schluss ergibt sich übrigens für diesen Fall schon ganz einfach daraus, dass KK' als eine einzige Kupferplatte zu betrachten ist, welche Z in a und b berührt, da wir wissen, dass es in Beziehung auf die gleichförmig sich ausbreitende El. gleichgültig ist, ob zwei heterogene Metalle in einem oder in mehreren Punkten einander berühren. Gesetzt aber auch, K' wäre nicht Kupfer oder Zink, sondern irgend ein anderes beliebiges Metall, so würde dennoch der gleiche Schluss gelten, da, wie wir wissen, es gleichgültig ist, ob die Platte Z von der Platte K unmittelbar, oder durch Vermittlung des Metalls K' berührt wird. Nur desswegen, weil die elektromotorische Wirkung der Flüssigkeiten auf die Metalle als Null betrachtet werden kann, können wir mit Hülfe solcher Flüssigkeiten wirksame geschlossene Ketten bilden. Sollte eine elektromotorische Wirkung der Flüssigkeiten auf

die Metalle wirklich statt finden, so müsste nothwendig die bisher aufgestellte Theorie modificirt werden, da die Wirksamkeit solcher mit Flüssigkeiten gebildeter geschlossener Ketten eine Thatsache ist.

Auf gleiche Weise, wie sich ein einfacher Elektromotor durch eine Flüssigkeit zur Kette schliessen lässt, kann auch eine Säule dadurch zur Kette geschlossen werden, dass man ihre Pole durch einen feuchten Leiter mit einander verbindet. Die Elemente der Säule bilden dann *eine in sich selbst zurücklaufende Reihe*. Der einfachste Fall einer solchen geschlossenen Säule wäre der, wenn man die Säule kreisförmig biegen würde, so dass sich ihre Pole berührten, und nun zwischen beide den feuchten Leiter einbrächte. Dieselbe Wirkung wird aber, da ein solches Biegen der Säule nicht wohl ausführbar wäre, dadurch hervorgebracht, dass man den Zinkpol der Säule in einen Zinkdraht, den Kupferpol in einen Kupferdraht sich endigen lässt und nun beide Drähte in ein gemeinschaftliches Gefäss mit Flüssigkeit, in welcher sie sich nicht berühren, leitet. Hier geht dann, wie vorhin, der Zinkpol der Säule in den Kupferpol derselben mittelst eines feuchten Leiters über; denn man hat:

Kupferplatte, Zinkplatte und Zinkdraht } Flüssigkeit;  
Zinkpol

Kupferdraht und Kupferplatte, } Zinkplatte, feuchter Leiter  
Kupferpol

u. s. f. Man hat selbst nicht einmal nöthig, den Zinkpol mit einem Zinkdraht, den Kupferpol mit einem Kupferdraht in Verbindung zu setzen, sondern man kann, wie dieses auch gewöhnlich geschieht, beide Polplatten mit Drähten von irgend einem Metall in Verbindung setzen und dann diese Drähte in die Flüssigkeit leiten. Sind z. B. diese Drähte Kupfer, so wird, wenn der Zinkpol der obere, der Kupferpol der untere Pol der Säule ist, das oberste Plattenpaar der Säule unwirksam werden, denn es wird jetzt:

Kupfer, Zink, Kupferdraht; seine El. wird daher = Null, da es in demselben Fall ist, als wenn Kupfer Kupfer berührte. Der unter dem obersten Plattenpaar befindliche feuchte Leiter leitet mithin die von den unteren Plattenpaaren mitgetheilte El. durch das oberste Plattenpaar und den Kupferdraht, welche beide selbst jetzt als *blosse Leiter* wirken, der Flüssigkeit zu, in welche der Draht eintaucht. Der mit der Kupferplatte des Kupferpols in Verbindung gesetzte Kupferdraht ist als eine Verlängerung der Kupferplatte zu betrachten, und hat keine besondere Wirkung. — Ist das Metall weder aus Kupfer, noch aus Zink, so fragt es sich, welche Art von El. dasselbe durch seine Berührung mit Kupfer und Zink entwickelt. Wird es z. B. durch seine Berührung mit Kupfer + elektrisch, so wird das oberste Plattenpaar der Säule wirksam bleiben, weil der Metalldraht dann gerade wie Zink selbst wirkt: wird es aber in Berührung mit Kupfer — elektrisch, so wird die dem positiven Pol von unten herauf zugeführte + El. durch die von dem Metall entwickelte — El. geschwächt werden u. s. f. Man sieht aber leicht ein, dass wenn eine Säule aus einer *grossen* Anzahl von Plattenpaaren besteht, die durch die besondere Beschaffenheit der Drähte herbeigeführte Schwächung des Stroms ganz bei Seite gesetzt werden kann. —

Sofern man die Säule auf die angeführte Weise durch Drähte schliesst, welche man in eine gemeinschaftliche Flüssigkeit leitet, nennt man diese Drähte *Leitungs- oder Schliessungs-Drähte*.

Man kann sogar — und es geschieht dieses häufig — die Säule auf die Weise schliessen, dass man ihre Pole mittelst eines zusammenhängenden metallischen Schliessungsdrahtes verbindet, ohne zwischen dieselben einen feuchten Leiter einzuschieben. Hierdurch wird dann die Wirkung Eines Plattenpaares vernichtet; denn wenn das oberste Plattenpaar in Zink, mithin das unterste in Kupfer sich endigt, so hat

man von oben nach unten: Kupfer, Zink, Draht, Kupfer, Zink; es ist also gerade so, als ob das Kupfer des obersten Plattenpaares das Zink des untersten unmittelbar berührte. Die Wirkung würde in diesem Fall ganz die gleiche seyn, wenn man hätte: Kupfer, Draht, Zink, und man könnte daher die Zinkplatte des obersten, und die Kupferplatte des untersten Plattenpaares, als überflüssig, ganz weglassen.

Eine bequeme Vorrichtung für die geschlossene Säule ist der sogenannte *Becherapparat*.

Man stellt eine Reihe mit leitender Flüssigkeit gefüllter Becher in einem Kreis auf, und taucht in jeden einzelnen Becher eine Zink- und eine Kupferplatte, die sich innerhalb desselben nicht berühren; die Zinkplatte eines Bechers wird mit der Kupferplatte des ihr am nächsten stehenden, und die Kupferplatte mit der Zinkplatte des auf der entgegengesetzten Seite ihr am nächsten stehenden Bechers metallisch, z. B. durch Drähte in Verbindung gesetzt. So enthält also jedes Gefäß die entgegengesetzten Hälften zweier verschiedenen Elektromotore, und zwischen je zwei Elektromotoren findet sich leitende Flüssigkeit. Diese Vorrichtung repräsentirt daher in der That die zu einem Kreis umgebogene und durch ihre Pole mittelst eines feuchten Zwischenleiters geschlossene Säule. Man kann sich auch statt der mit Drähten in Verbindung gesetzten Platten, bogenförmig gekrümmter Streifen bedienen, deren eine Hälfte aus Zink, die andere aus Kupfer besteht, und deren heterogene Schenkel jedesmal in zwei auf einander folgende Becher, immer in derselben Ordnung, eingesetzt werden.

Es ist klar, dass eine geschlossene *Säule* nichts anderes als eine *Vervielfachung* des Stroms bewirkt, denn für jedes einzelne Element derselben, d. h. für jeden einfachen, aus zwei heterogenen Metallen bestehenden Elektromotor wirkt die Gesamtheit der übrigen Elemente als schliessen-

der Leiter, und indem jedes Element für sich einen Strom nach derselben Richtung, wie jedes andere, hervorbringt, setzen sich diese Ströme zu einem einzigen zusammen, der je nach der Anzahl der Plattenpaare der Säule, welche den geschlossenen Kreis bilden, der doppelte, dreifache u. s. f. an Stärke von demjenigen werden kann, den eine einfache geschlossene Säule hervorgebracht haben würde, *wobei jedoch nicht als ausgemacht anzunehmen ist, dass die Stärke des Stroms wirklich in geradem Verhältniss mit der Anzahl der Plattenpaare zunehme, indem es möglich wäre, dass der verlängerte Weg, den der Strom jedes einfachen Plattenpaars in der zusammengesetzten voltaschen Säule zu durchlaufen hat, seine Intensität so schwächte, dass der Strom einer geschlossenen Säule aus  $n$  Plattenpaaren in der That nicht auch die  $n$  fache Stärke von dem Strom einer einfachen Kette hätte.* Hierauf kommen wir später zurück.

*Elektroskopische Wirkungen der geschlossenen Säule.*

So wie ein Condensator, der an den Pol einer an beiden Polen isolirten *ungeschlossenen* Säule angebracht wird, sich, zumal wenn die Anzahl der Plattenpaare der Säule gering ist, unwirksam zeigt (vergl. S. 701.), so kann um so viel weniger der an einen Pol einer an beiden Polen isolirten *geschlossenen* Säule angebrachte sich wirksam zeigen, weil in einer solchen die in entgegengesetzter Richtung strömenden ungleichnamigen Elektricitäten beständig gegenseitig sich auszugleichen streben.

Setzt man dagegen irgend eine Platte einer geschlossenen Säule mit dem Erdboden in Verbindung, und irgend eine andere beliebige Platte derselben mit dem Condensator, so ladet jede solche Platte den Condensator mit der ihr zukommenden El.; aber die Intensität, welche eine Platte dem Condensator mittheilt, bleibt immer dieselbe, wie die, welche jede andere demselben mittheilt, und sie ist nicht grö-

ser, als die Intensität, welche der Condensator von einem einzelnen Plattenpaare, dessen beide Platten mit dem Erdboden in Verbindung sind, ebenfalls erhalten würde. Durch die Schliessung verschwindet nemlich ein sehr grosser Theil der nach aussen wirksamen Elektricitäten der Säule vermöge der in den entgegengesetzten Strömungen erfolgenden Ausgleichung.

Wenn man eine gewisse Anzahl Glieder in der Mitte einer Säule durch einen Metalldraht schliesst, so verhält sich die Spannung an den Polen einer solchen Säule gerade so, als wenn diese durch den Draht geschlossenen Glieder gar nicht vorhanden wären.

Eine besondere Betrachtung verdienen noch die elektroskopischen Erscheinungen an einer Säule, deren Pole durch einen *unvollkommenen* Leiter, namentlich eine Flüssigkeit, mit einander in Verbindung gesetzt werden. — Leitet entweder die die Pole verbindende Flüssigkeit an sich schlechter, als die Flüssigkeiten zwischen den übrigen Plattenpaaren, oder leistet überhaupt der die Pole verbindende feuchte Leiter, sey es nun wegen der schlechteren Leitung der Flüssigkeit, oder vermöge anderer Verhältnisse, z. B. seiner grösseren Längenausdehnung u. s. f., dem Durchgang der El. einen grösseren Widerstand, so werden sich die Elektricitäten an den Polen der Säule anhäufen, die Pole werden daher freie El. zeigen, und eine solche durch einen feuchten Leiter geschlossene Säule wird sich, was die elektroskopischen Erscheinungen betrifft, in demselben Maasse der nicht geschlossenen mehr nähern, je grösser der Widerstand in dem schliessenden feuchten Leiter ist. Gerade dieser Fall aber hat für den Chemiker ein besonders grosses Interesse, denn da, wo die Säule zur Zersetzung chemischer Verbindungen angewendet wird, bringt man diese Verbindungen zwischen die Pole derselben ein, und sie stellen den unvollkommen schliessenden Leiter dar, in welchem



der Durchgang der Elektricitäten in der Regel einen grösseren Widerstand erfährt, als an den übrigen Stellen der Säule.

In allen diesen Fällen, wo, vermöge der unvollkommenen Schliessung, die Säule freie El. an ihren Polen zeigt, erstreckt sich diese freie El. (die mit der freien El. der Pole einer ungeschlossenen Säule gleichen Ursprung hat und nicht mit der strömenden El. zu verwechseln ist, welche letztere, wegen ihrer in jedem Augenblick durch die in entgegengesetzter Richtung strömende El. erfolgenden Neutralisation, auf das Elektrometer keine Einwirkung zeigt) bis auf eine gewisse Strecke weit mit abnehmender Stärke in den schliessenden feuchten Leiter selbst hinein, der daher in seiner Mitte einen Indifferenzzustand zeigt. Volta und Ermann haben dieses Verhalten durch Versuche nachgewiesen. Die Pole einer isolirten mit Salzwasser geschichteten Säule wurden durch einen langen, mit reinem Wasser (welches viel schlechter, als Salzwasser leitet) getränkten Papierstreifen, oder durch eine befeuchtete hanfene Schnur in Verbindung gesetzt. Die mit dem + Pol in Verbindung stehende Hälfte des Papierstreifens oder der Schnur, zeigte mit dem condensirenden Elektroskop geprüft, + El., deren Intensität von dem Pol an gegen die Mitte des Streifens oder der Schnur abnahm; eben so zeigte die mit dem - Pol in Verbindung stehende Hälfte, von diesem Pol gegen die Mitte des Streifens oder der Schnur abnehmende - El.; die Mitte selbst befand sich in neutralem Zustand. Wird aber das Ausströmen der El. an der einen Hälfte des Streifens dadurch erleichtert, dass man diese Hälfte, vorzugsweise vor der andern, in einen bessern Leiter verwandelt, indem man auf erstere z. B. einige Tropfen einer Salzauflösung bringt, die besser als blosses Wasser leitet, so wird auch die elektrische Ladung dieser Hälfte in gleichen Abständen von den Polen stärker als die der andern, und der neutrale Punkt nä-

hert sich mehr dem entgegengesetzten Pol. Wird die Säule, anstatt an ihren beiden Polen isolirt zu seyn, mit dem einen ihrer Pole mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt, so fällt der neutrale Punkt an diesen Pol selbst, und der ganze übrige Theil des Streifens zeigt die Elektrizität des isolirt bleibenden Pols mit einer nach diesem Pol hin von dem neutralen abgeleiteten Pol an progressiv zunehmenden Stärke der Ladung.

*Uebrigere Wirkungen der geschlossenen Kette und Säule.*

Ausser den elektroskopischen Wirkungen, welche hauptsächlich die *unvollkommen* geschlossene Säule noch zeigt, kommen der geschlossenen Säule überhaupt folgende Wirkungen zu:

1) *Elektromagnetische*, d. h. Wirkungen auf Magnetnadeln, die sich ausserhalb des Schliessungskreises der Kette befinden. — Von diesen wird blos in so weit die Rede seyn, als wir mit denselben bekannt seyn müssen, um andere Wirkungen gehörig würdigen zu können.

2) *Elektrodynamische*, d. h. Wirkungen, die sich auf Bewegungen beziehen, in welche die verschiedenen Theile der festen und flüssigen Leiter, welche die Kette schliessen, gerathen, wenn sie in gewisse Verhältnisse zu einander gesetzt werden. — Von diesen Wirkungen wird, weil sie unserem Gegenstand zu entfernt liegen, nicht die Rede seyn.

3) *Physiologische*, d. h. Wirkungen auf lebende oder kurz vorher getödtete Thiere, Wirkungen die sich z. B. in einer Empfindung von Schlägen äussern, wenn man die beiden Pole einer etwas starken Säule mit gut befeuchteten Händen berührt, so dass nun die Säule durch die Organe des Körpers geschlossen wird. — Auch diese Wirkungen werden hier nicht specieller betrachtet werden.

4) Wirkungen, die sich auf *Glühungs-* und *Verbrennungs-Erscheinungen* beziehen, Wirkungen, die sich z. B.

zeigen, wenn ein einziges *grosses* Plattenpaar, oder eine Säule aus grossen Platten durch einen dünnen, nicht zu langen Metalldraht geschlossen wird, wobei dieser ins Glühen kommt, und sofern er mit dem Sauerstoff unter diesen Umständen verbindbar ist, wirklich verbrennt. — Diese Wirkungen werden wir hier betrachten.

5) *Chemische*, d. h. solche Wirkungen, welche sich hauptsächlich auf die Zersetzung chemisch verbundener Körper, jedoch auch auf chemische Verbindungen von Körpern beziehen. — Diesen *chemischen* Wirkungen der geschlossenen Kette werden wir ganz besonders unsere Aufmerksamkeit widmen.

Bevor wir jedoch zu einer Betrachtung der genannten Wirkungen der geschlossenen Kette übergehen können, ist es nöthig, die Umstände kennen zu lernen, von welchen die Wirksamkeit galvanischer Ketten überhaupt abhängt. Um aber den Einfluss gewisser Umstände auf die Wirksamkeit der Säule bestimmen zu können, brauchen wir vor Allem ein Mittel, durch welches die relative Stärke des Stroms, oder vielmehr die Kraft, die der Strom hinsichtlich der einen oder der andern der angeführten Wirkungen äussert, in einer geschlossenen Kette sich erkennen lässt. Haben wir dann ein *Maass* für die Kraft gefunden, welche der Strom hinsichtlich irgend einer seiner Wirkungen äussert, so bleibt noch übrig zu untersuchen, ob die hinsichtlich *einer* Wirkung des Stroms erhaltenen Resultate sich auch auf die übrigen Wirkungen desselben übertragen lassen?

*Maasse für die Stärke des Stroms.*

Fast alle Arten von Wirkung des Stroms hat man versucht als *Maasse* für die Stärke desselben anzuwenden:

1) *Physiologische*, und unter diesen namentlich die relative Heftigkeit der Zuckungen, welche organische Individuen erfahren, durch welche man den Strom hindurchgehen

hen lässt. Es ist klar, dass diese Wirkungen schon wegen der Veränderlichkeit der Reizbarkeit viel zu unbestimmt sind, um als Maasse für die Stärke des Stroms gebraucht werden zu können. Ueberdiss würde diese relative Heftigkeit der Zuckungen selbst ihrer Grösse nach nicht mit einiger Genauigkeit bestimmt werden können.

2) *Glühungserscheinungen.* Man beobachtet die verschiedenen Drahtlängen, welche eine und dieselbe Kette ins Glühen zu versetzen oder zu verbrennen vermag, indem man mit Sicherheit schliessen kann, dass der Strom derjenigen Kette der stärkere ist, bei welcher eine grössere Länge Draht von demselben Metall und derselben Dicke, wenn die Kette damit geschlossen wird, diese Wirkung in gleichem Grade erfährt. — Diese Methode lässt sich jedoch a) nur bei starken Ketten anwenden, da schwache gar keine Glühungserscheinungen hervorzubringen vermögen, b) gibt sie keine genau vergleichbaren Resultate, weil, wie wir später sehen werden, mit der Länge des Drahts auch der Widerstand wächst, welcher der Bewegung des Stroms sich entgegensetzt. Wenn daher z. B. eine Kette eine doppelt so grosse Drahtlänge (von der gleichen Beschaffenheit und Dicke) ins Glühen bringt, als eine andere, so ist die Stärke des Stroms der ersteren doch nicht doppelt so gross, sondern mehr als doppelt so gross, weil der Strom der ersteren vermöge der grösseren Drahtlänge einen stärkeren Widerstand zu überwinden hat, als der Strom der letzteren.

3) *Chemische Wirkungen.* Man vergleicht entweder die Mengen von Gas, welche verschiedene Ketten in derselben Zeit durch Wasserersetzung entwickeln, oder man vergleicht die Zeiten, welche erforderlich sind, um die gleiche Menge von Gas zu entwickeln. — In einigen Fällen ist diese Methode anwendbar, in den meisten jedoch gibt auch sie keine vergleichbaren Resultate. Fürs erste findet sie bei der einfachen Kette keine Anwendung, weil hier die Gas-

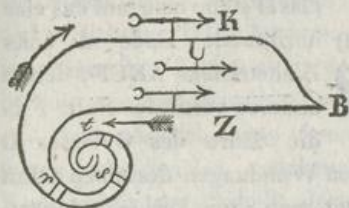
entwicklung gar zu langsam von statten geht; aber auch bei Säulen ist sie wenig anwendbar, weil, wie wir bald sehen werden, die Wirksamkeit geschlossener Säulen in einem fortwährenden Abnehmen begriffen ist. Nur dann, wenn dieses Verfahren in solchen Fällen angewandt wird, wo die Wirksamkeit der Säule *eine etwas längere Zeit hindurch* sich nicht merkbar ändert, wie dieses in den spätern Perioden der Wirksamkeit galvanischer Ketten der Fall ist, kann sie einigermaassen brauchbar seyn.

4) *Elektromagnetische Wirkungen.* Wir werden bald sehen, dass nur diese allein ein sicheres Maass für die Stärke des Stromes abgeben, und wollen uns daher vor Allem mit der Erörterung dieser Wirkungen selbst beschäftigen.

Es ist eine allgemein bekannte Thatsache, dass eine Magnetnadel, wenn sie, auf einem Stifte schwebend, oder an einem feinen Faden aufgehängt, sich selbst überlassen wird, stets eine fixe Richtung annimmt, welche ziemlich von Süden nach Norden geht, und die man *die Richtung des magnetischen Meridians* nennt. Wird eine solche Nadel aus dieser ihrer Richtung abgelenkt, so kehrt sie durch eine Reihe von Oscillationen von selbst wieder darein zurück, woraus erhellt, dass sie durch eine gewisse Kraft, welche die Richtung des magnetischen Meridians hat, in dieser Richtung erhalten zu werden strebt. Dieser Kraft legt man den Namen *der magnetischen Erdkraft* bei.

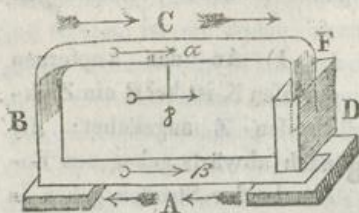
Spannt man nun über oder unter eine solche Nadel, die durch die Wirkung der magnetischen Erdkraft die Richtung des magnetischen Meridians angenommen hat, den Schliessungsdraht oder irgend einen andern Theil einer einfachen oder zusammengesetzten, hinlänglich wirksamen geschlossenen Kette aus, so wird man sehen, dass die Nadel ihre Richtung verlässt, und nach einigen Oscillationen unter einem gewissen Winkel gegen den magnetischen Meridian stehen bleibt.

Dieses lässt sich durch folgende einfache Vorrichtungen nachweisen.



1) An den kupfernen Streifen K ist bei B ein Zinkstreifen Z angelöthet; die nach abwärts gebogenen Enden beider Streifen gehen in Spiralen aus, die in einander greifen, jedoch durch

dazwischen gelegtes Holz oder Siegelack (durch r, s, t in der Figur angedeutet) an metallischer Communication verhindert werden. Sowohl über dem Kupferstreifen als über dem Zinkstreifen befinden sich Spitzen, auf welchen sich Magnetnadeln schwebend anbringen lassen, auch ist am obern Streifen ein Häkchen angebracht, um unter demselben eine Magnetnadel an einem seidenen Faden schwebend zu erhalten. Wird dieser Apparat so auf einen Untersatz gesetzt, dass die spiralförmige Endigung zur Seite herabreicht, und lässt man diese Endigung in ein Gefäss mit verdünnter Säure (welche viel besser, als reines Wasser, die El. leitet) tauchen, so hat man die Anordnung einer geschlossenen einfachen Kette, indem die in B entwickelte + El. des Zinks über den Zinkstreifen hin, durch die verdünnte Säure hindurch, in den Kupferstreifen (nach der in der Figur angedeuteten Richtung der Pfeile) strömt, und bei ihrer Wiederankunft in B ihren Kreis vollendet. Dieser positiven El. entgegen, strömt - El.; die der Kupferstreifen in B entwickelt, über den Kupferstreifen durch die verdünnte Säure in den Zinkstreifen ein und vollendet ihren Kreis ebenfalls in B. Man bezeichnet aber, wie schon oben angeführt wurde, *blos* den Strom der *positiven* El., welcher vorzugsweise den Namen *Strom* führt, und sieht vom Strom der negativen El. ganz ab.



2) Ein kupfernes mit verdünnter Säure gefülltes Gefäss D stelle man auf das eine horizontale Ende A eines Zinkstreifens ABCF, dessen anderes verticales Ende F in die Säure des Gefässes D eintaucht, ohne die metallischen Wandungen desselben selbst zu berühren. Bei  $\alpha, \beta, \gamma$ , bringt man, wie vorhin, Magnetnadeln an. Es ist zweckmässig, den Zinkstreifen breiter als die Länge der Magnetnadeln zu nehmen, so dass diese, auch bei ihrer grössten Abweichung, nicht über den Zinkstreifen hinausreichen. — Hier ist das kupferne Gefäss D der eine, der Zinkstreifen der andere Elektromotor; die Elektricitäts-Erregung geschieht an der Stelle, wo das kupferne Gefäss D mit dem Zinkstreifen in metallischer Berührung ist, d. h. wo es auf dem Zinkstreifen aufruht; der Strom bewegt sich von da über A, B, C, F durch die verdünnte Säure hindurch nach dem Metall des Gefässes D.

Wird nun der eine oder andere dieser Apparate in die Richtung des magnetischen Meridians, d. h. so gestellt, dass die Streifen, auf denen die Nadeln angebracht sind, mit der Richtung dieser Nadeln parallel sind, so erfolgt im Augenblick, wo der Kreis geschlossen wird, d. h. im Augenblick, wo man Säure in das Gefäss D giesst, eine mehr oder weniger starke Ablenkung der Magnetnadel.

Diese Ablenkung wird durch eine vom Schliessungsbogen ausgehende Kraft bewirkt, welche die Magnetnadel senkrecht auf die Richtung dieses Schliessungsbogens oder des denselben durchlaufenden Stroms zu drehen strebt und in diese Richtung wirklich drehen würde, wenn nicht die magnetische Erdkraft, welche die Nadel im magnetischen Meridian zu erhalten strebt, ihr entgegenwirkte, so dass die Magnetnadel stets, vermöge des zusammengesetzten Ein-

flusses beider Kräfte auf sie, in einer Lage stehen bleibt, welche zwischen den magnetischen Meridian (in welchem wir den Strom laufend annehmen) und die auf demselben senkrechte Richtung fällt, letzterer aber sich um so mehr nähert, je grösser die Wirksamkeit des elektrischen Stroms im Verhältniss zur magnetischen Erdkraft ist.

Dass wirklich diese Annahme einer vom Schliessungsbogen ausgehenden, senkrecht auf denselben wirkenden Kraft richtig sey, erhellt daraus, dass wenn man einen der angeführten Apparate so stellt, dass seine Längenrichtung, mithin die Richtung des Stroms, *gleich Anfangs* senkrecht ist auf der des magnetischen Meridians, und dass mithin die Pole der Nadeln nach den Seiten des Drahts liegen, nach welchen sie der Strom selbst zu drehen streben würde, der Strom keine ablenkende Wirkung mehr auf dieselben äussert, welches nur unter der Bedingung möglich ist, dass diese sich schon in der Richtung, in welcher die Kraft wirkt, selbst befinden.

Hinsichtlich der *Seite*, nach welcher die Nadel abgelenkt wird, gilt, der Erfahrung zufolge, folgende durchaus allgemein gültige Regel. *Denkt man sich einen Beobachter in der Richtung des Stroms so liegend, dass der (positive) Strom zu seinen Füssen ein, und zu seinem Kopfe austritt, und dass sein Gesicht der Magnetonadel zugekehrt ist, so wird der Nordpol der Nadel, d. h. dasjenige ihrer Enden, welches sie, sich selbst überlassen, nach Norden kehrt, jedesmal nach seiner linken Hand abweichen.*

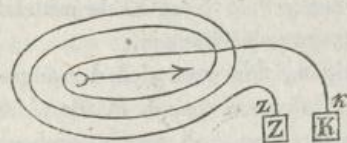
Zufolge dieser Regel wird daher, bei der unter n<sup>o</sup>. 2. so eben beschriebenen Vorrichtung, der Strom, welcher den Theil A, und der Strom, welcher den Theil C des Schliessungsbogens durchläuft, die bei *a* angebrachte Nadel nach *entgegengesetzten* Richtungen abzulenken streben, weil die Nadel *a* über den beiden Theilen C und A des Schliessungsdrahts sich befindet, und diese beiden Theile C und A von dem



Strom nach *entgegengesetzten* Richtungen durchlaufen werden; nur wird der Strom, welcher den Theil C durchläuft, weil er der Nadel bei  $\alpha$  näher ist, als der Strom, welcher den Theil A durchläuft, das Uebergewicht über den letzteren erhalten, und mithin die Nadel bei  $\alpha$  doch nach der Richtung abgelenkt werden, nach welcher sie der den Theil C durchlaufende Strom abzulenken strebt. Es ergibt sich aber ferner aus derselben Regel, dass wenn man *zwischen* C und A, bei  $\gamma$ , eine Magnetaadel aufhängt, die sich mithin *über* dem Theil A und *unter* dem Theil C befindet, diese von dem Strom, welcher A, und von dem Strom, welcher C durchläuft, nach der *gleichen* Richtung abgelenkt wird. Die Nadeln bei  $\beta$  und  $\alpha$  nemlich werden, die erstere durch den Strom in A, die letztere durch den Strom in C nach *entgegengesetzten* Richtungen abgelenkt, da die erstere über B, und die letztere über C sich befindet, der Strom in A aber die entgegengesetzte Richtung hat von dem Strom in C; die Nadel bei  $\gamma$  dagegen wird durch den Strom in C nach einer Richtung abgelenkt, welche derjenigen ebenfalls *entgegengesetzt* ist, nach welcher die Nadel bei  $\alpha$  abgelenkt wird, weil die Nadel  $\gamma$  *unter*, die Nadel  $\alpha$  dagegen *über* C sich befindet; mithin wird die Nadel bei  $\gamma$  durch den Strom in A nach derselben Richtung abgelenkt, wie durch den Strom in C. — Dieses folgt übrigens aus der oben angeführten Regel ganz unmittelbar. Wenn nemlich untersucht werden soll, welche Abweichungsrichtung die Magnetaadel in  $\gamma$  durch den Strom in A erhält, so muss nach obiger Regel der Beobachter sich auf den Streifen A so legen, dass sein Bauch und Gesicht nach oben, nemlich der Nadel  $\gamma$  zugewendet wird, seine Füße aber gegen D zu, (an welcher Seite der Strom einströmt), sein Kopf nach der Seite B hin zu liegen kommt; dann weicht der Nordpol der Nadel nach seiner *Linken* ab. Soll dagegen die Abweichungsrichtung, welche die Magnetaadel in  $\gamma$  durch den Strom in C erhält, untersucht werden, so muss sich der Beobachter, Bauch und Gesicht nach unten, (nemlich nach der Magnetaadel in  $\gamma$

zu, die Füsse gegen B, den Kopf nach F zugekehrt, auf den Streifen C legen, und der Nordpol der Magnetnadel wird dann wieder nach seiner Linken abweichen, und es ist klar, dass die Abweichungs-Richtung in beiden Fällen dieselbe ist.

Dieses letztere Resultat ist von sehr grosser Wichtigkeit, denn es gibt uns ein Mittel an die Hand, die Wirkung eines und desselben Stroms auf die Nadel fast ins Unbestimmte zu vervielfachen. Anstatt nemlich einen Schliessungsbogen bloß Einmal um die Nadel herum zu führen, wie es bei der zuletzt beschriebenen Vorrichtung der Fall ist, ist es bloß nöthig, diese Windungen öfters zu wiederholen, jedoch auf eine solche Weise, dass zwischen den einzelnen Windungen keine leitende Gemeinschaft sey; in die Mitte dieser Windungen eine Magnetnadel schwebend anzubringen, an das eine Ende k des Schliessungsdrahtes eine Kupferplatte K, an



das andere Ende z aber eine Zinkplatte Z zu befestigen, und beide Platten durch ein Gefäß mit leitendem Wasser oder verdünnter Säure oder durch

eine feuchte Scheibe in Verbindung zu setzen. Wir wissen (vergl. S. 689.), dass, von welcher Natur auch der gewundene Schliessungsdraht seyn mag, doch die von den Platten ausströmende El. von derselben Beschaffenheit ist, als wenn sich die Platten direct berührten. In Beziehung auf die Platte Z kann man sich daher vorstellen, als ob der ganze Schliessungsdraht eine blosse Fortsetzung der Platte K, d. h. als ob er von Kupfer sey, und als ob mithin die Kupferplatte K die Zinkplatte Z in z berühre; dann wird mithin der positive Strom von der Platte Z aus seinen Weg durch den feuchten Leiter nach der Kupferplatte K hin und durch diese und den Schliessungsdraht zurück nach z durchlaufen. In Beziehung auf die Platte K aber können wir uns vorstellen, als wäre der ganze Schliessungsdraht eine blosse Verlängerung

der Zinkplatte Z, mithin selbst von Zink, und als würde die Kupferplatte K von der Zinkplatte Z in k berührt. Der negative Strom geht mithin von der Kupferplatte K aus durch den feuchten Leiter nach Z, durch den Schliessungsdraht hindurch, und vollendet seinen Weg bei seiner Ankunft in k. Da wir jedoch blos den positiven Strom berücksichtigen und diesen vorzugsweise *Strom* nennen, so bewegt sich in diesem Fall der Strom von der Zinkplatte Z aus durch den feuchten Leiter, die Kupferplatte und den Schliessungsdraht zurück nach z, und wird mithin so oft an der Nadel vorbeigehen müssen, als der Schliessungsdraht Windungen hat, und seine Wirkung auf die Nadel wird sich mithin in entsprechendem Maasse vervielfältigen. Es versteht sich übrigens von selbst, dass so wie man durch den Schliessungsdraht die beiden Platten eines einfachen Elektromotors mit einander verbinden kann, ebenso die beiden Pole einer Säule mittelst desselben in Verbindung gesetzt werden können.

Es erhellt aus dem Bisherigen, dass man sich der angegebenen Vorrichtung als eines *Galvanoskops*, d. h. als eines Mittels bedienen kann, zu erforschen, ob zwei gegebene Substanzen durch ihre Berührung El. erregen. Man darf zu dem Ende blos jede einzelne Substanz an einer Stelle, die eine mit dem einen, die andere mit dem andern Ende des gewundenen Drahts, innerhalb dessen eine Magnetonadel aufgehängt ist, in Verbindung setzen, und beide zugleich an einer andern Stelle durch einen feuchten Leiter mit einander verbinden: erregen sie wirklich durch ihre wechselseitige Berührung Elektrizität, so wird diese den geschlossenen Kreis durchlaufen, und im Vorbeigehen bei der Magnetonadel auf diese ihre ablenkende Wirkung äussern, auch wenn die erregte El. nur sehr schwach ist. Die Richtung, nach welcher der Nordpol der Nadel abgelenkt wird, gibt dann zugleich mit Hülfe der oben angeführten Regel zu erkennen, welche der beiden Substanzen positiv und welche negativ

elektrisch wird. — Um mittelst dieser Vorrichtung, welche nach ihrem Erfinder Schweigger's *elektromagnetischer Multiplicator* genannt wird, lässt sich daher die strömende El. bei solchen Graden der Schwäche wahrnehmbar machen, bei welchen sie nur durch sehr empfindliche Froschpräparate hätte entdeckt werden können, vor denen sie übrigens aus leicht einleuchtenden Gründen den Vorzug verdient.

Hinsichtlich der Einrichtung des Multiplicators selbst beschränke ich mich hier auf wenige Bemerkungen. Um die Windungen des Drahts von einander zu isoliren, damit nemlich die Elektrizität nicht von einer Windung zur andern der Queere nach übergehen könne, wodurch ein wiederholtes Vorbeigehen des Stroms bei der Nadel verhindert würde, ist es bei den schwachen El.-Graden, die hier in Betracht kommen, hinreichend, den Draht seiner ganzen Länge nach mit Seide dicht zu überspinnen, worauf dann die Windungen einander unmittelbar decken können, ohne dass eine el. Communication zwischen ihnen statt fände. Die Enden des Multiplicatordrahts, die mit den Elektromotorplatten in Verbindung gesetzt werden, sind nicht mit Seide umspinnen. Die Zahl der Windungen betreffend, so hat die im Allgemeinen vortheilhafte Vervielfältigung derselben doch auch ihre Grenzen. Theils würden nemlich, bei einer ins Unbestimmte gehenden Vervielfältigung der Windungen, die letzten Windungen zu entfernt von der Nadel zu liegen kommen, um noch eine merkliche Wirkung auf dieselbe zu äussern, theils wird, wie wir später sehen werden, der Widerstand, den der Strom in seiner Bewegung erfährt, um so grösser, je grösser die Länge des Leiters ist, so dass die mit der Zahl der Windungen zunehmende Länge des Drahts die Vortheile der vermehrten Anzahl der Windungen compensiren kann. Dieses kann in manchen Fällen so weit gehen, dass die Anwendung des Multiplicators nicht nur keinen Vortheil, sondern selbst Nachtheil mit sich führt. — Für die gewöhn-

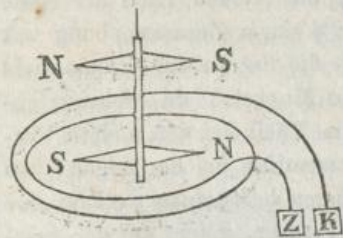
lichen Anwendungen windet man den Draht 60 bis 80 mal um die Nadel. — Es ist vortheilhaft, die Windungen nicht alle in einer Vertical-Ebene über und unter der Nadel aufzuwickeln, sondern in einer gewissen Breite rechts und links von derselben zu winden, damit nicht die Wirkung des Drahts in dem Maasse, als die Nadel abgelenkt wird, wegen Entfernung der Enden der Nadel sich schwäche. Am besten bedient man sich eines kupfernen oder übersilberten Drahts, weil dieser die El. am besten leitet, ungefähr von der Dicke des Klaviersaitendrahts. Uebrigens ist es an sich ganz gleichgültig, von welcher Beschaffenheit der Multiplikatordraht seyn mag, und die Wirkung der Elektromotorplatten bleibt ungeändert, was man auch für Metalle als Zwischenglieder zwischen dieselben einbringen mag, denn die Wirkung wird einzig und allein durch die an die Enden des Drahts gefügten, mit der Flüssigkeit in Berührung gesetzten Endplatten bestimmt.

Nobili hat durch eine sehr sinnreiche Vorrichtung diesem Instrument eine noch weit grössere Empfindlichkeit gegeben. Da der Wirkung des Stroms im Schliessungsdraht, welche die Nadel aus dem magnetischen Meridian abzulenken strebt, die magnetische Erdkraft, welche sie in denselben zurückzuführen strebt, entgegenwirkt, so ist es klar, dass man durch Schwächung dieser letzteren Kraft viel stärkere Ablenkungen der Nadel durch den Multiplicator erhalten würde. Dieses lässt sich sehr einfach dadurch bewerkstelligen, dass man *zwei* Magnetnadeln, einander parallel, an dem nämlichen Stift, so dass sich also die eine nicht ohne die andere bewegen kann, befestigt, und die gleichartigen Pole derselben nach entgegengesetzten Richtungen zu liegen lässt \*). Sind beide Nadeln vollkom-

---

\*) Die in der Mitte durchbohrten Magnetnadeln werden auf einen Strohhalm geschoben, durch welchen ein Faden

men gleich stark magnetisirt, so wird dieses System, wenn es frei aufgehängt ist, von der magnetischen Erdkraft so gut als gar keine Einwirkung erfahren, weil diese den Südpol der einen Nadel nach der entgegengesetzten Richtung zu drehen strebt, als den Nordpol der andern, eine aber ohne die andere sich nicht bewegen kann, mithin die Wirkungen sich gegenseitig aufheben müssen. Zwar ist es nicht wohl möglich, zwei vollkommen gleich stark magnetisirte Nadeln zu erhalten, und die Wirkung der Erdkraft auf die stärker magnetisirte wird dann das Uebergewicht haben: aber sie wird sich auf das Gesamtsystem beider Nadeln nur mit der Differenz der Stärke äussern können, in der sie auf jede einzelne wirksam gewesen wäre, so dass die Wirkung derselben auf dieses System der Nadeln jedenfalls sehr gering ist. Beiden Nadeln kann man aber leicht eine solche Anordnung



in Beziehung auf die Windungen des Multipliers geben, dass sich die Wirkungen dieser Windungen auf beide Nadeln wechselseitig unterstützen; es reicht zu diesem Zweck hin, die eine Nadel über, die andere innerhalb der Windungen

anzubringen, wie in beifolgendem Schema. Die obere Nadel würde durch den Einfluss der Windungen nach entgegengesetzter Richtung abgelenkt werden, wie die untere, wenn die Pole beider Nadeln gleich gelegen wären: da aber diese Pole entgegengesetzt liegen, so müssen beide Nadeln nach derselben Richtung abgelenkt werden. — Die Empfindlichkeit eines solchen Instruments ist so ausserordentlich, dass man dasselbe nur mit einem sehr kleinen

---

gezogen wird, der an seinem untern Ende mit einem Knoten versehen ist.

Plattenpaare Kupfer und Zink, unter Zwischenwirkung sauren Wassers, in Verbindung zu setzen braucht, um die Nadeln bei der Schliessung mehrmals einen ganzen Kreis durchlaufen zu sehen.

Die elektromagnetischen Wirkungen der geschlossenen Kette empfehlen sich als Mittel, die Stärke des Stroms zu messen, vor den übrigen, oben S. 722, 723. angeführten Mitteln in folgenden Beziehungen. a) Man erhält durch sie ein Resultat *in kurzer Zeit*, so dass selbst in den früheren Perioden der Wirksamkeit der Kette, wo die Veränderlichkeit des Stroms noch sehr bedeutend ist, diese Veränderlichkeit während der Zeit der Beobachtung vernachlässigt werden kann. b) Sie sind für die stärksten wie für die schwächsten Grade der Stärke des Stroms zu einer vergleichbaren Messung brauchbar. c) Da die Magnetnadeln, auf welche sich die Wirkungen der Kette äussern, nicht einen Theil der Kette selbst bilden, sondern in gar keinem Zusammenhang mit derselben stehen, so wird auch die Stärke des Stroms nicht durch die Wirkungen, die die Magnetnadeln hierbei erfahren, modificirt, wie dieses zum Theil bei den andern Verfahrensarten der Fall ist, namentlich bei derjenigen, wo man die verschiedenen Drahtlängen beobachtet, welche eine Kette ins Glühen zu versetzen vermag, indem mit der grösseren Drahtlänge der Widerstand, den der Strom in seiner Bewegung erfährt, vermehrt wird. d) Aus den Wirkungen, welche die Magnetnadeln erfahren, kann man mit Sicherheit auf die Grösse der Kraft schliessen, von welcher diese Wirkungen abhängen, was hinsichtlich der andern Wirkungen, mittelst deren man die Stärke des Stroms hat messen wollen, nicht so der Fall ist.

Es fragt sich nun, wie man sich der elektromagnetischen Wirkungen als eines Maasses für die Stärke des Stroms bedienen könne?

1) *Man beobachtet die Ablenkung, die ein Strom auf*

*eine vollkommen frei bewegliche Magnetnadel äusseri. —*  
 Man könnte zu diesem Zwecke am Multiplicator eine Kreis-  
 eintheilung anbringen; es ist jedoch zu bemerken, dass die Ab-  
 lenkungen der Nadel der Stärke des Stroms nicht proportio-  
 nal sind, und daher nicht zu seinem genauen Maasse die-  
 nen, wenn gleich aus einer grösseren Ablenkung auf eine  
 grössere Stärke des Stroms mit Sicherheit geschlossen wer-  
 den kann. Würde man übrigens keinen Multiplicator an-  
 wenden, und sich als Schliessungsbogens nicht eines wie eine  
 Linie wirkenden Drahts, sondern eines metallischen, hori-  
 zontal ausgespannten Streifens bedienen, dessen Breite die  
 Länge der Nadel so weit überträfe, dass auch bei der gröss-  
 ten Ablenkung der Nadel ihre Pole noch in hinlänglicher  
 Entfernung von seinen Rändern blieben, so dass sich der  
 Streifen als von unbegrenzter Breite im Verhältniss zur  
 Länge der Nadel ansehen liesse, so würde die Grösse der  
 auf die Nadel wirkenden Kraft der Tangente des Ablen-  
 kungswinkels proportional, und gänzlich unabhängig von der  
 Entfernung seyn, in der sich die Nadel vom Streifen befin-  
 det, wofern nur diese bei den aufeinander folgenden Versu-  
 chen sich gleich bliebe. Selbst dem Multiplicator liesse sich  
 eine solche Einrichtung geben: man müsste denselben so gleich-  
 förmig aufwinden, dass alle seine Windungen in Einer Horizon-  
 talebene lägen; dann würden sie einen Streifen von einer sol-  
 chen Breite bilden, dass die Pole der Nadel immer in hinreichen-  
 der Entfernung von den Rändern des Streifens blieben. — Die-  
 ses lässt sich aber theils wegen der federnden Eigenschaft des  
 Drahts, vermöge welcher die Windungen immer eine gewisse  
 Convexität annehmen, nicht wohl ausführen, theils würde man,  
 um einen Streifen von bedeutender Breite zu erhalten, dem Mul-  
 tiplicatordraht eine grosse Länge geben müssen, wodurch in  
 vielen Fällen die Wirkung desselben sehr geschwächt wür-  
 de. — Jedenfalls müsste, wenn der Ablenkungswinkel als  
 Maass der Stärke des Stroms dienen sollte, die Nadel an



einem so feinen Faden aufgehängen seyn, oder auf einer so feinen Spitze schweben, dass der Widerstand, welchen die Drehung des Fadens oder die Reibung auf dem Stifte der Bewegung der Nadel entgegengesetzt, als unmerklich ausser Acht gelassen werden könnte.

2) *Man hängt die Magnetnadel, oder das System aus zwei Magnetnadeln nach Nobili's Vorrichtung, genau am Mittelpunkt der Drehung, an einem feinen Metalldraht auf, der stark genug ist, dass ihm die Nadel bei der Drehung folgt.* — Die Anzahl der Grade des Drehungswinkels ist der Stärke der Kraft, welche auf die Nadel gewirkt hat, direct proportional, und dient daher als ein Maass derselben.

3) *Man schätzt die Kraft des Stroms durch die Anzahl der Schwingungen, welche eine Magnetnadel unter seinem Einfluss vollbringt.* — Es mag hier genügen, eine Idee von dieser sinnreichen Methode zu geben, ohne die vielen Vorsichtsmaassregeln zu erörtern, die man bei der wirklichen Anwendung derselben zu beobachten hat.

Wenn eine horizontale, frei aufgehängene Magnetnadel, die sich in der Richtung des magnetischen Meridians im Gleichgewicht befindet, aus dieser Richtung auf irgend eine Weise abgelenkt, und dann der Wirkung der Kräfte, die sie in ihre ursprüngliche Richtung zurückzuführen streben, wieder überlassen wird, so kehrt sie der Erfahrung zufolge durch eine Reihe von Oscillationen darein zurück. Es lässt sich aber zeigen, dass die Kraft, welche die Nadel in die Lage ihres Gleichgewichts zurückzuführen strebt, proportional ist dem Quadrat der Geschwindigkeit dieser Schwingungen, d. h. dem Quadrat der Anzahl von Schwingungen, welche von derselben Nadel in derselben Zeit vollbracht werden, oder, was wieder dasselbe ist, umgekehrt proportional dem Quadrat der Zeittheile, welche zur Vollbringung derselben Zahl von Schwingungen erforderlich sind.

Lässt man nun die im Multiplikator befindliche Nadel

zuerst allein unter dem Einfluss der magnetischen Erdkraft oscilliren (zu welchem Endzweck man sie nicht durch Anstoss, sondern durch ein Eisenstäbchen oder ein schwaches Magnetstäbchen aus ihrer Richtung ablenkt), und zählt nach dem Schlag einer genauen Uhr oder eines Pendels die Anzahl Zeittheile, die sie braucht, um eine gewisse bestimmte Anzahl Oscillationen zu vollbringen, so erhält man durch diese erste Zählung das Maass der Kraft, mit welcher der *Erdmagnetismus* auf die Nadel wirkt. — Diese Schwingungen darf man nur in kleinen Bogen erfolgen lassen, weil nur für diese ein merklicher Isochronismus statt findet.

Der Schliessungsdraht oder die Windungen des Multiplicators werden hierauf so gerichtet, dass sie senkrecht stehen auf der Richtung der Nadel, oder, was sicherer ist, man mittelt durch Versuche eine Lage aus, wo die Nadel keine merkliche Ablenkung mehr erfährt, wenn man einen Strom durch den Draht hindurchgehen lässt. So ist man sicher, dass sich die Nadel zugleich in der Richtung der magnetischen Erdkraft und in der Richtung der vom Draht ausgehenden Kraft befindet, oder dass beide Richtungen in Eine zusammenfallen.

Man lässt jetzt durch den Multiplicator einen Strom durchfahren, lenkt die Nadel durch ein Eisenstäbchen oder schwaches Magnetstäbchen ab, und zählt nun, wie vorhin, die Anzahl Zeittheile, welche die Nadel braucht, um unter der vereinigten Einwirkung der magnetischen Erdkraft und der Kraft des Stroms dieselbe Zahl Schwingungen zu vollbringen, als vorher unter dem Einfluss der Erdkraft allein. So wird man das Maass für die Summe der Kräfte erhalten, mit welchen die Erde und der Strom auf die Nadel wirken, und zieht man von dieser Summe die durch den vorhergegangenen Versuch gefundene Kraft der Erde ab, so erhält man dadurch das Maass der Kraft, mit welcher der Strom allein auf die Nadel wirkt.

Die Magnetnadel brauche z. B. zur Vollendung von 20

Oscillationen unter dem Einfluss der Erdkraft allein, 100 Halbsecunden, so ist nach Obigem die Zahl  $\frac{1}{100^2} = \frac{1}{10000} = 0.0001$  das Maass der Erdkraft. — Gesetzt nun, dieselbe Nadel brauche unter dem vereinigten Einfluss des Stroms irgend einer Kette und der Erdkraft, bei oben getroffener Anordnung, bloß 50 Halbsecunden, ebenfalls zu 20 Oscillationen, so ist die Zahl  $\frac{1}{50^2} = \frac{1}{2500} = 0.0004$  das Maass für die Summe beider Kräfte; die Zahl  $0.0004 - 0.0001 = 0.0003$  ist mithin das Maass der Kraft des Stroms. Folglich verhält sich in diesem Fall die Kraft, mit welcher der Strom allein, nach Abzug der Erdkraft, auf die Nadel wirkt, zu der Kraft, mit der die Erde auf die Nadel wirkt, = 3 : 1. Gesetzt jetzt, die Nadel brauche, unter dem Einfluss eines andern Stroms, nur 30 Halbsecunden zu 20 Oscillationen, so ist die Zahl  $\frac{1}{30^2} - \frac{1}{100^2}$ , d. i. 0.0010 das Maass für die Kraft des Stroms allein; mithin verhält sich die Kraft dieses zweiten Stroms zur Kraft des ersten = 10 : 3.

Es ist am bequemsten, die Kraft der Erde immer als Einheit zu Grunde zu legen, und alle verschiedenen Stromkräfte mit dieser der Einheit gleich gesetzten Erdkraft zu vergleichen, und folgende allgemeine Formel erleichtert die Berechnung. Wenn die Anzahl Zeittheile, welche die Nadel zur Vollbringung einer gewissen Anzahl Schwingungen unter dem blossen Einfluss der Erdkraft braucht, N, (die Zahl der Zeittheile aber, welche sie unter dem vereinigten Einfluss der Erdkraft und des Stroms zur Vollbringung derselben Anzahl Schwingungen braucht, N' heisst, so erhält man für das Maass der Kraft des Stroms  $\frac{1}{N'^2} - \frac{1}{N^2} = \frac{N^2 - N'^2}{N^2 N'^2}$ , oder, wenn man die Kraft der Erde = 1 setzt, (wo dann N = 1, mithin auch N^2 = 1) =  $\frac{1 - N'^2}{N'^2}$ .

Bei

Bei dieser Berechnung der Kraft des Stroms wird vorausgesetzt, dass die Kraft der Erde und die Kraft des Stroms die Pole der Nadel nach *derselben Seite* des Schliessungsdrahts zu drehen und in dieser Lage zu erhalten streben. Bei einer entgegengesetzten Richtung des Stroms würde die Zahl Zeittheile, die man unter dem vereinigten Einfluss der Erdkraft und der Kraft des Stroms erforderlich findet, um die bestimmte Anzahl Schwingungen zu vollenden, nicht mehr der Summe, sondern der Differenz beider Kräfte, d. h. der Kraft des Stroms weniger der Erdkraft (indem jetzt die Erdkraft der Kraft des Stroms entgegenwirkte) entsprechen; man müsste daher bei einer solchen Einrichtung der Nadel die durch den ersten Versuch gefundene Kraft der Erde zu der durch den zweiten Versuch gefundenen Kraft *addiren*, um das Maass für die Kraft des Stroms allein zu erhalten. Man hat es übrigens in seiner Macht, die Anordnung immer nach der ersten Weise zu treffen.

Die Anzahl der Oscillationen, welche bei der Beobachtung zu Grunde gelegt wird, ist an sich gleichgültig, nur muss natürlich bei allen zusammengehörigen Beobachtungen immer die gleiche Anzahl zu Grunde gelegt werden. Grössere Genauigkeit in den Bestimmungen wird allerdings möglich, wenn man die Anzahl der Oscillationen grösser nimmt, weil dann Unsicherheiten hinsichtlich der genauen Schätzung von Bruchtheilen der Zeittheile am Anfang und am Ende der Zählung um so mehr ihren Einfluss auf das Resultat verlieren. Auf der andern Seite darf die Anzahl von Oscillationen auch nicht zu gross genommen werden, weil dann die Nadel um grössere Bogen aus der Lage ihres Gleichgewichts abgelenkt werden müsste, wodurch der Isochronismus ihrer Schwingungen verloren gieng. Auch muss man in der Regel, wenn man die Kraft einer Kette im Anfang ihrer Wirksamkeit messen will, eine geringere Anzahl von Oscillationen desswegen wählen, weil hier, oft schon in-

nerhalb weniger Secunden, eine sehr bedeutende Abnahme der Wirkung statt findet, zufolge welcher, bei zu Grundlegung einer grösseren Anzahl von Oscillationen, ein schwächeres Resultat für die anfängliche Wirksamkeit der Kette erhalten werden würde, als man in der That eines erhalten sollte und wirklich erhält, wenn man dasselbe aus einer geringeren Anzahl von Oscillationen ableitet.

Das so eben beschriebene Verfahren lässt sich auch auf ein System zweier entgegengesetzt gerichteter Nadeln, wie es die S. 732. 733. beschriebene Doppelnadel Nobili's darstellt, anwenden. Die Berechnung wird ganz auf dieselbe Weise geführt, nur liegt hier als Einheit der Kraft, mit welcher alle verschiedenen Stromkräfte verglichen werden, nicht mehr die Kraft, mit der die Erde auf jede einzelne Nadel für sich, sondern mit welcher sie auf das System beider Nadeln wirkt, d. h. die Differenz ihrer Kräfte auf beide Nadeln, zu Grunde. Würden daher diese Kräfte ganz gleich seyn, so wäre die Einheit der Kraft = Null. Da man somit, um das Maass der Stromkraft zu erhalten, von der Summe der Kräfte, mit welchen einerseits die Erde und andererseits der Strom auf die Nadel wirkt, entweder gar nichts, oder jedenfalls viel weniger als bei der Vorrichtung mit Einer Nadel, abzuziehen hat, so erhält man für die Grössen des Stroms bei Anwendung der Doppelnadel absolut grössere Werthe, als man bei einer einfachen Nadel erhalten haben würde, aber diese Grössen behalten dieselben *Verhältnisse* zu einander, wofern man sich nur immer derselben Doppelnadel bedient. Der Multiplicator mit einer Doppelnadel bietet daher ein Mittel zur Messung dar, welches mit der grössten Empfindlichkeit die grösste Zuverlässigkeit und Leichtigkeit der Anwendung verbindet.

*Umstände, welche die Kraft des Stroms in der geschlossenen Kette bestimmen.*

Nachdem wir uns mit einem sicheren Maass für die Stärke des Stroms bekannt gemacht haben, wird es nun im Allgemeinen keine grosse Schwierigkeit haben können, die Umstände auszumitteln, von welchen die Stärke des Stroms abhängt. Dieses Maass bezieht sich aber blos auf die Stärke des Stroms hinsichtlich seiner elektromagnetischen Wirkungen, und es ist daher vor Allem nöthig zu wissen, ob *alle* Wirkungen der geschlossenen Kette durch die gleichen Einflüsse verstärkt oder geschwächt werden, so dass man zum Voraus schliessen kann, dass, wenn eine besondere Art der Wirkung durch einen gewissen Umstand vergrössert oder verkleinert wird, auch alle übrigen Wirkungen der Kette einen gleichen Einfluss hievon erleiden würden. Es wäre z. B. denkbar, dass der Strom einer Kette stärkere elektromagnetische Wirkungen hervorbrächte, als der Strom einer anderen Kette, und dass dennoch der erstere Strom hinsichtlich seiner chemischen Wirkungen z. B. sich schwächer zeigte als der letztere; dann würde natürlich unser Maass für die Stärke des Stroms, welches sich blos auf die elektromagnetischen Wirkungen bezieht, nicht auch auf die übrigen Wirkungen der geschlossenen Kette übertragen werden können. Dieses scheint in der That auf den ersten Anblick der Fall zu seyn, denn eine Säule aus kleinen Platten z. B. ertheilt eben so starke Schläge, wenn ihre Pole mit befeuchteten Fingern berührt werden, wie eine Säule aus grossen Platten, wofern nur die Anzahl der Plattenpaare in beiden Säulen die gleiche ist, und auch alle übrigen Umstände gleich sind. Wenn aber solche zwei Säulen in Beziehung auf die Stärke der Schläge, die sie ertheilen, d. h. in Beziehung auf ihre physiologischen Wirkungen keine merkliche Verschiedenheit zeigen, so zeigen sie sich dagegen hinsichtlich anderer Wirkungen höchst verschieden, nament-

lich bringt die Säule mit grösseren Platten die Glühungserscheinungen in einem viel ausgezeichneteren Grade hervor, als die Säule mit kleinen Platten, so dass sogar in dieser Beziehung durch eine vergrösserte Oberfläche der einzelnen Platten mehr ausgerichtet wird, als durch eine vermehrte Zahl der Plattenpaare. — Diesem nach würde die Stärke der physiologischen Wirkungen von andern Umständen abzuhängen scheinen, als die der übrigen Wirkungen.

Dieser Unterschied erklärt sich jedoch sehr wohl, ohne dass man nöthig hat, eine Abhängigkeit der verschiedenen Wirkungen der Kette von *verschiedenen* Umständen anzunehmen. Die Stärke des Stroms ist nemlich um so grösser, je grösser die elektromotorische Kraft der ganzen Kette (welche von der elektromotorischen Kraft der einzelnen Paare und von der Zahl der Paare abhängt) und je geringer der Widerstand ist, welchen der Strom in seiner Bewegung erfährt. Dieser Widerstand ist, wie wir später sehen werden, um so geringer, je grösser die Oberfläche ist, mit welcher die Metalle den feuchten Leiter berühren. Aus diesem Grunde sollte allerdings, um in dieser Beziehung nur Ein Beispiel anzuführen, bei gleicher Zahl der Plattenpaare, eine Säule aus grossen Platten stärkere Schläge geben, als eine Säule aus kleinen Platten. Aber diese Schläge werden erhalten, indem man durch den *menschlichen Körper* die Säule schliesst. Der Widerstand nun, den der Strom bei seinem Durchgang durch den menschlichen Körper erfährt, ist in Vergleichung mit dem Widerstand, den derselbe bei seinem Durchgang durch die Plattenpaare und feuchten Leiter der Säule erleidet, so ausserordentlich gross, dass letzterer fast ganz gegen den ersteren verschwindet, mithin der geringere Widerstand, den der Strom in einer Säule von grösseren Platten, verglichen mit einer Säule von kleineren Platten, erfährt, auf die Stärke der Schläge keinen bemerkbaren Einfluss ausüben kann. — Ganz anders verhält es sich, wenn die Säule zur

Hervorbringung von Glühungs-Erscheinungen angewendet wird. In diesem Fall wird sie durch Metalldrähte, also durch gute Leiter geschlossen, die dem Strom keinen bedeutenden Widerstand entgegensetzen; die Säule mit grossen Platten wird daher jetzt dem Strom einen bedeutend geringeren Widerstand leisten, als die Säule mit kleinen Platten u. s. f. —

Man ist daher, so weit wenigstens die bisherigen Erfahrungen reichen, berechtigt, eine Abhängigkeit der verschiedenen Wirkungen der Kette von gleichen Umständen anzunehmen, und in dieser Beziehung ist der Multiplicator ein so wichtiges Instrument, weil mittelst desselben auf eine sehr einfache Weise ganz sichere Resultate erhalten werden, die nicht blos für die elektromagnetischen, sondern auch für die übrigen Wirkungen der geschlossenen Kette gelten.

Die einfachste physische Vorstellung, die man sich von der Natur des Stroms machen kann, ist die, dass man annimmt, eine Magnethadel z. B. werde stets eine gleiche Wirkung von der Kette aus erfahren, wenn in gleicher Zeit gleich viel Elektrizität in derselben Entfernung bei der Nadel vorbeigeht; ebenso: die in die Kette selbst gebrachten Leiter werden einen gleichen Einfluss erfahren, wenn durch einen gleichen Durchschnitt derselben in gleicher Zeit gleich viel El. hindurchgeht. Die Wirksamkeit der Kette überhaupt würde demnach im zusammengesetzten Verhältniss der Menge und der Geschwindigkeit der El., die durch jeden Durchschnitt derselben läuft, stehen.

So erklärt sich z. B. in Beziehung auf diese Vorstellung sehr wohl der Umstand, dass die Stärke des Stroms in einer geschlossenen Kette im Allgemeinen in keinem directen Verhältniss zur Stärke der elektroskopischen Wirkungen (Spannung an den Polen) steht, welche die Kette geöffnet äussert. Wir wissen, dass Säulen aus gleich viel Platten-



paaren und denselben Metallen aufgebaut, im Allgemeinen an ihren Polen dieselbe Spannung zeigen, so verschiedenartig auch die Flüssigkeiten seyn mögen, mit welchen sie geschichtet sind (vergl. S. 695, 696.). Wir wissen aber auch, dass in Säulen mit schlecht leitender Flüssigkeit sich die El. nur viel langsamer bewegen kann als in Säulen mit besserer Leitung: daher muss auch nach obiger Vorstellung die Wirksamkeit des Stroms in den ersteren im Verhältniss geringer seyn als in den letzteren; bei der *offenen* Säule dagegen kommt der Unterschied der Leitung bloß insofern in Betracht, als die Erreichung des Maximums der el. Intensität an den Polen, bei welchem die El. ins Gleichgewicht kommt, durch schlechte Leitung verzögert wird. Am auffallendsten sieht man dieses bei den trockenen (Zambonischen) Säulen, von welchen später die Rede seyn wird.

Früher schien die Bestimmung über die Abhängigkeit der Wirksamkeit der geschlossenen Ketten von den einzelnen Umständen so verwickelt, die Resultate, welche aus den Beobachtungen verschiedener Physiker hervorgingen, so widersprechend zu seyn, dass man nicht wusste, woran man sich zu halten habe; jetzt sind wenigstens bei weitem die meisten Punkte auf das Genügendste aufgeklärt.— Man muss vor Allem die Totalwirkung der Umstände festhalten, von welchen die Wirksamkeit der Ketten abhängt; der eine Theil dieser Umstände wirkt auf Vermehrung, der andere auf Verminderung der Stärke des Stroms hin. Wir können demnach die Totalwirkung dieser Umstände durch eine Bruchzahl darstellen, in deren Zähler die Umstände, welche die Stärke des Stroms vermehren, und in deren Nenner die Umstände aufgenommen sind, welche die Stärke des Stroms vermindern. Mit der Summe der elektromotorischen Kräfte (welche um so grösser ist, je grösser die elektrische Spannung ist, welche die beiden heterogenen Metalle durch ihre gegenseitige Berührung annehmen, und je grösser die

Zahl der Platten ist) *wächst* die Kraft des Stroms; mit der Summe der Widerstände, welche der Strom theils in der Kette selbst, theils in dem Schliessungsbogen erfährt, *nimmt* die Stärke des Stroms *ab*; erstere kommt mithin in den Zähler, letztere in den Nenner. Je kleiner der Nenner eines Bruchs verglichen mit dem Zähler desselben ist, desto mehr wird der Werth des Bruchs durch eine absolut kleine Zahl, die dem Nenner zugefügt wird, verhältnissmässig vermindert; und umgekehrt: je grösser der Nenner in Vergleichung mit dem Zähler ist, desto weniger wird der Werth des Bruchs durch eine solche kleine Zahl, die man dem Nenner zufügt, vermindert. Wenn also der Leitungswiderstand in der Kette ganz unbedeutend ist, so wird die Stärke des Stroms auch durch eine kleine Vermehrung dieses Widerstandes merklich geschwächt; wenn dagegen dieser Leitungswiderstand sehr gross ist, so wird die Stärke des Stroms durch eine weitere Vermehrung desselben, die in Vergleichung mit dem zuvor statt gehabten Widerstand nur unbedeutend ist, auch nicht merkbar vermindert.

Wenn nun wirklich die Stärke des Stroms von der angeführten Totalwirkung der diese Stärke vermehrenden und vermindernden Umstände abhängt, (was wir noch zu beweisen haben), so werden wir hierdurch, in Verbindung mit einigen von der Theorie vorausgesehenen und durch die Erfahrung bewährten Gesetzen, alle Einzelheiten, die hierbei in Betracht kommen, zu übersehen in den Stand gesetzt werden. Diese Gesetze sind folgende:

1) *Wenn die Wirksamkeit irgend eines Theils der Kette zunimmt oder abnimmt dadurch, dass man die elektromotorische Kraft oder das Leitungsvermögen an irgend einer Stelle vermehrt oder vermindert, so nimmt die Wirksamkeit aller übrigen Theile der Kette in entsprechendem Grade zu oder ab.*

Durch die Erfahrung wird dieses Gesetz wenigstens im

Allgemeinen bewährt. Wenn man nemlich in einer Kette, in welcher an einer Stelle ein Wasserzersetzungsapparat angebracht ist, und die an einer andern Stelle auf eine Magnetnadel wirkt, das Leitungsvermögen irgend eines festen oder flüssigen Theils der Kette erhöht oder vermindert, so wird man immer auch sowohl die wasserzersetzende Wirkung an der einen, als die elektromagnetische an der andern Stelle *zugleich* sich vermehren oder vermindern sehen, wenn gleich die Veränderung im Leitungsvermögen an ganz andern Stellen der Kette vorgenommen wurde. Dass aber diese Vermehrung oder Verminderung der Kraft wirklich *al* *theile* immer in *genau* gleichem Verhältniss betreffe, ist zwar durch directe Versuche noch nicht erwiesen, lässt sich jedoch, da auch keine Erfahrungen vorhanden sind, die das Gegentheil beweisen, vorläufig voraussetzen.

Diese Verminderung der Stärke des Stroms bei vermindertem Leitungsvermögen, das man irgend einem Theil der Kette gibt, scheint dadurch hervorgebracht zu werden, dass der Ueberschuss der El., den die besseren Leiter in der Kette mehr als die schlechteren fortzuführen vermögen würden, anstatt in die Strömung überzugehen, sich in freiem Gleichgewichtszustande an der Gränze der besseren und schlechteren Leiter ausscheidet, und mithin für die Strömung verloren geht. Diese freie El. wird zugleich, in dem Grade, als sie sich anhäuft, durch ihre Repulsivkraft die Entwicklung der El. von der Erregungsstelle aus schwächen und auch aus diesem Grunde zur Verminderung der Stärke des Stroms beitragen. In der That sieht man immer da, wo ein Theil der Kette schlechter leitet, als die übrigen Glieder derselben, eine gewisse Quantität freier El. auftreten, und hiedurch, so wie durch die in Folge der Repulsivkraft dieser freien El. herbeigeführte Schwächung der Entwicklung der El. von der Erregungsstelle aus scheint eine *allgemeine* Ausgleichung des elektrischen Stromes in den verschieden-

artigsten Theilen der Kette hervorgebracht zu werden, die zwar durch die Erfahrung noch nicht hinreichend erwiesen, aber doch durch mehrere Thatsachen wahrscheinlich gemacht ist. Eine solche allgemeine Ausgleichung würde in folgendem Gesetz, welches zugleich das vorige in sich begreift, ausgesprochen werden können.

2) *Die Gesamtquantität von Elektricität, welche durch jeden Querschnitt der Kette, der senkrecht auf die Richtung des Stroms gemacht wird, in derselben Zeit hindurch geht, ist in der ganzen Länge der Kette gleich gross und unabhängig von der besonderen Beschaffenheit und Grösse jedes Querschnitts. Die Intensitäten des Stroms in jedem Theil der Kette verhalten sich demnach umgekehrt, wie die senkrecht auf die Richtung des Stroms genommenen Querschnitte dieser Theile.* — Dieses Gesetz spricht die vorhin erwähnte allgemeine Ausgleichung des elektrischen Stroms aus; denn es ist klar, dass wenn die Gesamtquantität von El., welche durch jeden senkrecht auf die Richtung des Stroms gemachten Querschnitt der Kette in derselben Zeit hindurchgeht, in der ganzen Länge der Kette (bei einer jeden geschlossenen Kette) gleich ist, jene Ausgleichung sogleich erfolgen muss, wenn eine geschlossene Kette dadurch, dass man die elektromotorische Kraft oder das Leitungsvermögen an irgend einer Stelle vermehrt oder vermindert, in eine andere geschlossene Kette von stärkerer oder schwächerer Wirkung verwandelt wird.

Für dieses Gesetz sprechen folgende Thatsachen:

a) Seebeck schloss ein Plattenpaar von  $5\frac{1}{2}$  Quadratfuss bald mit einem Metallstab, bald mit einem Metallstreifen, bald mit einer Metallplatte. (Es scheint, dass immer das gleiche Metall und von gleichen Längen angewandt wurde), und erhielt an einer über dem schliessenden Metall angebrachten Magnetnadel folgende Ablenkungen:

Schliessende Körper	Ablenkung der Nadel	
Metallstab von $3\frac{1}{2}$ Lin. Durchmesser	—	16°
Metallstreifen, $3\frac{3}{4}$ Zoll breit	—	9°
Metallstreifen, $12\frac{7}{8}$ Zoll breit	—	$2\frac{1}{2}$ °
Metallplatte, 2 Fuss breit	—	0°

Aus diesen Versuchen ergibt sich, dass je breiter der Streifen war, desto mehr auch die Wirkung auf die Nadel abnahm. Da nun, wie wir später sehen werden, die Vergrösserung des Querschnitts die allgemeine Stärke des Stroms vielmehr vergrössert als vermindert, so kann die schwächende Wirkung der Breite in den erwähnten Versuchen nur davon herrühren, dass dasselbe (oder vielmehr ein etwas grösseres) Quantum von El. sich in dem breiten Streifen weit mehr ausbreiten musste, als in dem schmälern, und wenn daher selbst etwas mehr El. durch jeden Querschnitt des breiten Streifens in derselben Zeit gieng, als durch jeden Querschnitt des schmälern, so konnte doch jene nicht aus einer so grossen gemeinsamen Nähe auf die Nadel wirken, wie diese, deren ganze Intensität mehr zusammen gedrängt war. So erklärt sich auch, warum ein *Metallstab*, selbst wenn sein Querschnitt viel kleiner seyn sollte, als der Querschnitt eines Metallstreifens, doch eine viel stärkere Wirkung auf die Nadel hervorbringt, als ein *Metallstreifen*.

b) Wenn man die Pole einer Säule mit befeuchteten Händen berührt, so erhält man einen Schlag. Die Stärke dieses Schlags nun wird grösser seyn an der Hand, welche mit einer kleineren Oberfläche den Pol berührt, geringer aber an derjenigen, welche dem Pol eine grössere Berührungsoberfläche darbietet. Wenn nemlich gleich die Stärke des Stroms im Allgemeinen durch Vergrösserung der Berührungsoberfläche der feuchten mit den festen Leitern zunimmt, so nimmt die Zertheilung des Stroms bei der vergrösserten Berührungsoberfläche doch in einem grösseren Verhältniss ab.

c) Eine Kette vermag einen Draht nur dann ins Glühen zu bringen, wenn dieser dünn genug genommen wird, ungeachtet, wie wir bald sehen werden, die *allgemeine* Wirksamkeit der Kette stets mit der Dicke des schliessenden Drahts abnimmt. Man kann daher selbst mit sehr schwachen Ketten (wie in Wollaston's Fingerhutapparat, auf den wir später zurückkommen werden) Drähte zum Glühen bringen, wenn man sie, entsprechend der Schwäche der Kette, dünn genug nimmt. — Die allgemeine Wirksamkeit der Kette nimmt nemlich bei verminderter Dicke des Drahts in einem kleineren Verhältniss ab, als die Concentrirung des Stroms zunimmt.

d) Wenn man nach Barlow eines sehr langen Schliessungsdrahts (von 838 Fuss) sich bedient, so zeigt eine Magnetnadel gerade unter die Mitte des Drahts gestellt, ganz die gleiche Ablenkung, wie zwei nahe an das positive und negative Ende des Elektromotors, oder an irgend eine andere Stelle des Drahts (immer in gleicher Entfernung von demselben) gestellte Magnetnadeln. — Dieses ist eine nothwendige Folge des unter n<sup>o</sup>. 2. aufgeführten Gesetzes.

Ueber die Gleichheit der Stromgrösse in *allen* Querschnitten der Kette, namentlich über ihre Gleichheit in den Querschnitten flüssiger wie fester Leiter fehlt es noch an Erfahrungen; man hat blos eine einzige Erfahrung von Grotthuss, zufolge welcher auch die flüssigen Leiter eine Ablenkung der Magnetnadel hervorbringen, indem er eine solche durch einen genässten, in der Kette befindlichen Bindfaden bewirkte. Diese Gleichheit der Stromgrösse in *jedem* auf die Richtung des Stroms senkrechten Durchschnitt der Kette, wornach die Dichtigkeit des Stroms der Grösse dieser Querschnitte umgekehrt proportional wäre, kann daher vorderhand blos als *wahrscheinlich* angenommen werden.

Wir wollen nun die einzelnen Umstände, welche den

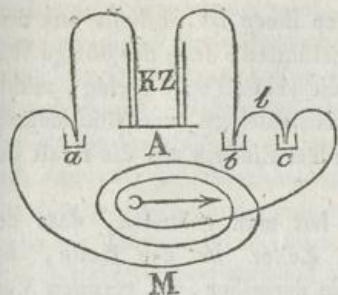
Gesamtleitungswiderstand der Kette bedingen, specieller betrachten.

a) Von dem Widerstand, den die festen Leiter dem Strom entgegensetzen.

a) Von dem Widerstand der festen Leiter, insofern derselbe von ihren Dimensionen abhängt.

Da man bemerkt, dass bei Anwendung derselben erregenden Metalle zur Kette, die Stärke des Stroms doch sehr verschieden ausfällt, so muss angenommen werden, dass ausser der elektromotorischen Kraft auch die *Beschaffenheit der Leitung* in der Kette die Kraft der Strömung modificire. Da man nun ferner (wie später bewiesen werden wird) immer findet, dass eine *Verlängerung* der Strecke der vom Strom zu durchlaufenden flüssigen oder festen Leiter *nie* eine Verstärkung, sondern stets nur eine mehr oder weniger bedeutende *Schwächung* in der Kraft des Stroms hervorzubringen vermag, so erhellt hieraus, dass die Leiter nicht sowohl ein positives Vermögen besitzen, den Strom fortzuleiten, sondern dass sie vielmehr dem Strom einen *Widerstand* entgegensetzen, der die Kraft des Stroms schwächt, einen Widerstand, der bei verschiedenen Körpern verschieden ist. Es leuchtet demnach ein, dass das Wort: *Leitungsvermögen* auf einer unrichtigen Vorstellung beruht, und von denjenigen Körpern, welche man *bessere Leiter* nennt als andere, werden wir daher richtiger sagen: sie setzen dem Strom einen *geringeren Widerstand* entgegen, als diese anderen Körper.

Der Widerstand, den die *festen* Leiter dem Strom entgegensetzen, lässt sich leicht durch folgende Vorrichtung nachweisen. In dem Troge A sind die beiden Elektromotorplatten K und Z enthalten. Von ihnen gehen angelöthete Drähte in die mit Quecksilber gefüllten Gefässe a und b



über. Das Gefäß b wird durch einen Draht l mit einem dritten, ebenfalls mit Quecksilber gefüllten Gefässe c verbunden, und andererseits stehen die Gefässe a und c unter sich durch den Multiplicatordraht M in Verbindung. Der Strom wird dann, wenn Z

die Zinkplatte ist (vergl. S. 729. 730.), von ihr durch die Flüssigkeit des Gefässes zur Kupferplatte K, von dieser in das Gefäß a, von da durch den Multiplicator M, durch c und b nach Z zurückgelangen und so den Kreis vollenden. Hat man nun die Kette auf einen gleichmässigen Zustand ihrer Wirksamkeit kommen lassen und die Kraft ihres Stroms gemessen, und vertauscht dann den kurzen Draht l, durch den die Gefässe b und c verbunden werden, mit einem viel längeren Draht, z. B. einem überspannenen Multiplicatordraht, dessen freie Enden man in die Gefässe eintaucht, so wird die grössere Langsamkeit der Oscillationen der Magnetnadel sogleich eine Abnahme der Kraft des Stroms zu erkennen geben, und umgekehrt eine Zunahme, wenn man statt eines längeren Zwischendrahts einen kürzeren einbringt. Ebenso wird man die Wirkung mit der Dicke der Drähte, die der Strom zu durchlaufen hat, zunehmen, mit ihrer Dünne abnehmen sehen; endlich werden Drähte von *verschiedenen* Metallen ebenfalls Unterschiede in dieser Hinsicht hervorbringen, indem, bei gleichen Dimensionen der Länge und Dicke, die Kraft des Stroms z. B. bei silbernen und kupfernen Leitungsdrähten stärker seyn wird, als bei eisernen. — Dass die durch die Verschiedenheit in den Dimensionen und der Materie der Zwischendrahte hervorgebrachten Unterschiede in der Kraft des Stroms um so merklicher ausfallen müssen, je grösser die Elektromotorplatten und je besser



leitend die Flüssigkeit zwischen ihnen ist, erhellt aus dem schon oben (S. 742, 744.) Angeführten; denn der übrige Widerstand in der Kette wird in diesem Fall sehr gering, mithin der Widerstand in den Zwischenleitern verhältnissmässig gross und daher von bedeutendem Einfluss auf die Kraft des Stroms.

Durch genaue Versuche hat man gefunden, dass der Widerstand der metallischen Leiter in der Kette, bei vorausgesetzter gleicher Materie derselben, im *geraden* Verhältniss ihrer Länge und im *umgekehrten* ihres Querschnitts zunimmt, so dass also z. B. bei zwei, im Uebrigen vollkommen gleich construirten, Ketten die Kraft des Stroms in derjenigen Kette, deren Schliessungsbogen ein *kürzerer* und *dickerer* Draht ist, grösser ist, als in derjenigen, deren Schliessungsbogen ein *längerer* und *dünnerer* Draht ist.

Dieses Gesetz lässt sich z. B. auf folgende Art nachweisen:

Man beobachte die Kraft einer auf einen gleichförmigen Zustand gekommenen Kette, wenn sie blos durch den Multiplicatordraht geschlossen ist, bringe nun irgend eine beliebige Drahtlänge, deren Verhältniss zum Multiplicatordraht man nicht zu kennen braucht, in die Kette, und beobachte, um wie viel die Kraft hierdurch sinkt. Man erfährt auf diese Weise, um wie viel der Gesamtleitungswiderstand der Kette durch Hinzufügung der Drahtlänge zugenommen hat: denn bei gleichbleibender elektromotorischer Kraft kann das Sinken der Kraft des Stroms blos der Vermehrung des Leitungswiderstandes zugeschrieben werden. Man merke die Grösse an, welche den Zuwachs des Leitungswiderstandes ausdrückt, und bringe jetzt eine Drahtlänge (von gleicher Dicke) in die Kette, deren Verhältniss zur ersten man kennt, z. B. eine doppelte, dreifache u. s. f. Man beobachte wieder das hierdurch erfolgte Sinken der Kraft des Stroms und sehe zu, welcher neue Zuwachs des Gesamtleitungswiderstan-

des hierdurch angedeutet wird. Da man nun wirklich findet, dass sich dieser neue Zuwachs zu ersterem wie die hinzugebrachten Drahtlängen selbst verhält, so schliesst man hieraus, dass der Widerstand der Leitungsdrähte im geraden Verhältniss ihrer Länge zunimmt. Auf gleiche Art lässt sich auch das von der verschiedenen *Dicke* der Drähte abhängige Gesetz des Leitungswiderstandes nachweisen.

Es sey die constant bleibende elektromotorische Kraft =  $a$ , der Gesamtleitungswiderstand in der blos durch den Multiplikatordraht geschlossenen Kette =  $1$ , so ist die Kraft dieser Kette

=  $\frac{a}{1} = a$ . Bringt man nun eine Drahtlänge =  $1$  in die Kette, so wird dadurch der Gesamtleitungswiderstand vermehrt und die Kraft des Stroms geschwächt werden; letztere wird sich

z. B. durch  $\frac{a}{1+p}$  ausdrücken lassen. Das Maass beider Stromkräfte, nemlich der Stromkraft  $\frac{a}{1}$  und der Stromkraft  $\frac{a}{1+p}$  ist

bekannt, z. B. durch die Methode der Oscillationen bestimmt. Dividirt man nun  $\frac{a}{1}$  durch  $\frac{a}{1+p}$ , so erhält man als Quotienten

$1+p$ , d. h. den Gesamtleitungswiderstand in der Kette, in welche der Draht  $1$  eingebracht wurde. Man findet also auch  $p$

(indem man von der gefundenen Zahl  $1$  abzieht), d. h. den Zuwachs, den der Gesamtleitungswiderstand durch das Einbringen der Drahtlänge  $1$  in die Kette erhalten hat. Man bringe nun

einen andern Draht  $1'$  von derselben Dicke und Materie wie  $1$  in die Kette, so wird die Kraft des Stroms, die man wiederum

mittels der Methode der Oscillationen bestimmt, durch  $\frac{a}{1+p'}$

ausgedrückt werden können, und  $p'$  wird sich eben so, wie vorher  $p$ , bestimmen lassen, und man wird dann finden, dass sich  $1 : 1' = p : p'$  verhält. \*)

---

\*) Wenn man die Wirkung der in die Kette eingebrachten Drähte auf die Stromkraft, durch den *Widerstand* ausdrückt, den die Drähte der Stromkraft entgegensetzen, so wird

Man hat ferner gefunden, dass die *Form* der Drähte in dieser Hinsicht ganz gleichgültig ist, d. h. dass es gleichgültig ist, ob der Draht ein wirklicher (runder) Draht ist, oder ob derselbe eine andere z. B. 4eckige Gestalt hat; die Wirkung ist in beiden Fällen die gleiche, wenn nur die Länge des Drahts und die Grösse seines Querschnitts (Kreis oder Parallelogramm) die gleiche ist.

β) *Von dem Widerstand der festen Leiter, insofern er von der verschiedenen Materie und der Temperatur der Leiter abhängt.*

Zur Bestimmung des *eigenthümlichen Leitungsvermögens der Metalle* (oder vielmehr des Widerstandes, den verschiedene Metalle bei gleichem Querschnitt und gleicher Länge dem Strom entgegensetzen) hat man sich verschiedener Methoden bedient.

1) Da man beobachtet, dass sich Drähte, durch welche sich eine Leidner Batterie oder eine galvanische Kette entladet, um so stärker erhitzen, je schlechter ihr Leitungsvermögen ist, so verglich man z. B., wie viel Zolle gleichdicken Drahts durch dieselbe Grösse der Ladung einer Leidner Batterie ins Glühen gebracht oder geschmolzen zu werden vermögen. — Gegen diese Methode lässt sich die Einwendung machen, dass die verschiedenen Metalle eine ver-

---

man sagen müssen, dieser Widerstand verhalte sich *umgekehrt* wie die *Dicke*, und *direct* wie die *Länge* des Drahts, weil der Widerstand um so geringer ist, je grösser die Dicke, und um so grösser, je grösser die Länge des Drahts ist. Drückt man dagegen diese Beziehung der Dimensionen der Drähte zur Stromkraft durch das Wort „*Leitungsvermögen*“ aus, so wird man sagen müssen: das Leitungsvermögen der Drähte verhalte sich *direct* wie die *Dicke*, und *umgekehrt* wie die *Länge* der Drähte.

verschiedene Menge von Wärme zum Glühen und Schmelzen erfordern, und dass daher aus der Erscheinung des Glühens und Schmelzens nicht mit Sicherheit auf die Quantität von Wärme geschlossen werden kann, welche der Strom bei seinem Durchgang durch die Drähte entwickelt. Demungeachtet stimmen mehrere nach dieser Methode angestellte Versuche ziemlich gut mit den Resultaten, welche mittelst anderer sichererer Methoden erhalten wurden.

2) Eine zuverlässigere Methode ist die, bei welcher die Erhitzung der Drähte selbst genauer bestimmt wird, indem man die Drähte in einem mit Luft erfüllten Ballon einschliesst, und die relative Erhitzung derselben durch die Ausdehnung der Luft misst.

3) Die directeste und desswegen sicherste Methode, das Leitungsvermögen der Metalle zu bestimmen, gründet sich jedoch darauf, dass man nach einander *gleich dicke* Drähte von *verschiedenen* Metallen zur Schliessung einer Kette anwendet, und die relativen Längen vergleicht, welche diese Drähte haben müssen, damit die (durch die Ablenkung der Magnetnadel oder eine andere Wirkung zu messende) Kraft des Stroms sich stets gleich bleibe. Das Leitungsvermögen wird sich dann direct wie die Länge dieser Drähte verhalten, d. h. ein doppelt so langer Draht, wird nur dann den Strom nicht mehr schwächen als ein Draht von der einfachen Länge (die Dicke beider Drähte als gleich vorausgesetzt), wenn zugleich das Leitungsvermögen seiner Materie doppelt so gross, oder, was eben so viel heisst, (sein Leitungswiderstand halb so gross ist.

Die Kraft des Stroms lässt sich nemlich durch die elektromotorische Kraft dividirt durch den Gesamtwiderstand ausdrücken. Nennen wir erstere A und letzteren a, so ist die Kraft des Stroms einer solchen Kette  $= \frac{A}{a}$ . Man schiebe nun in diese Kette das einema  
einen Draht l, dessen Leitungswiderstand  $\lambda$ , das anderemal einen gleich dicken Draht l' von einem andern Metall ein, dessen Leitungs-

widerstand  $= \lambda$  sey. Im ersten Fall wird die Kraft des Stroms  $= \frac{A}{a + \lambda}$ ,  
 im letzten  $= \frac{A}{a + \lambda'}$  seyn. Da wir nun aber den Draht  $l'$  von  
 einer solchen Länge genommen haben, dass die Kraft des Stroms  
 die gleiche blieb wie in dem Fall, wo wir den Draht  $l$  in die  
 Kette gebracht hatten, so wird  $\frac{A}{a + \lambda} = \frac{A}{a + \lambda'}$ , mithin  $\lambda = \lambda'$ ,  
 d. h. der Leitungswiderstand (oder das Leistungsvermögen) des  
 Drahts  $l$  gleich dem Leitungswiderstand (oder Leistungsvermögen)  
 des Drahts  $l'$  seyn. Wenn daher die Länge des Drahts  $l'$  das  
 n fache ist von der Länge des Drahts  $l$ , so ist (da das Leistungs-  
 vermögen von  $l' = \lambda'$ ) das Leistungsvermögen von  $\frac{1}{n} l'$ , (d. h. von  
 einem Draht, dessen Länge  $=$  ist der Länge des Drahts  $l$ )  $=$   
 $n \lambda = n \lambda$ , weil nemlich ein Draht von der  $n$  fachen Länge (bei  
 gleicher Materie und Dicke)  $n$  mal schlechter leitet als ein Draht  
 von der einfachen Länge.

Am zuverlässigsten wird das Leistungsvermögen der  
 Metalle durch die Ablenkung der Magnetonadel bestimmt.  
 Man bringt zuerst einen Draht in die Kette und misst die  
 Kraft des Stroms mittelst der Magnetonadel. Man bringt jetzt  
 statt dieses ersten Drahts einen andern von gleicher Dicke  
 aber verschiedener Materie in die Kette und versucht, wie  
 lang man denselben zu nehmen brauche, damit die Kraft  
 des Stroms unverändert bleibe. Das Leistungsvermögen der  
 Metalle, aus welchen die Drähte gemacht sind, verhält sich  
 dann wie die Länge derselben.

Es wird sich nun auch voraussehen lassen, in welchem  
 Verhältniss sich der Strom einer Kette zertheilt, wenn sich  
 dieselbe irgendwo in mehrere, nachher wieder zusammen-  
 aufende Zweige spaltet, z. B. wenn die Pole einer Säule  
 gleichzeitig durch mehrere parallele Drähte, die eine ver-  
 schiedene Länge und Dicke haben und von verschiedener  
 Materie seyn können, verbunden werden. Das Gesetz, nach  
 welchem sich in diesem Fall der Strom zwischen den ein-

zelen Zweigen theilt, welches übrigens aus dem Vorhergehenden als unmittelbare Folge sich ergibt, lässt sich so ausdrücken: *Die Grösse des Stroms in den verschiedenen Zweigen der Kette ist respectiv proportional ihrem Leitungsvermögen, so dass z. B. ein Draht, der vermöge seiner Kürze, Dicke und Materie doppelt so gut leitet, als ein anderer, auch die doppelte Quantität El. in gleicher Zeit durch jeden seiner Querschnitte hindurch lassen wird, als ein anderer, der nur halb so gut, wie dieser leitet, wenn beide neben einander die Kette schliessen.* — Da nemlich durch einen Draht, mit welchem die Kette geschlossen wird, nur  $\frac{1}{6}$  von El. hindurch geht, welche in der gleichen Zeit durch einen andern gleich langen aber 6 mal so dicken Draht von derselben Materie hindurch geht, so wird auch durch 6 neben einander liegende mit dem ersten gleichlange und gleich dicke Drähte von derselben Materie 6 mal so viel El. hindurchgehen, weil man sich einen 6 mal dickern Draht als aus 6 gleich langen Drähten von einfacher Dicke bestehend vorstellen kann. Ueberhaupt wird ein Draht dieselbe Wirkung äussern, wie eine beliebige Anzahl gleich langer Drähte von derselben Materie zusammengenommen, bei welchen die Summe der Querschnitte gleich ist dem Querschnitt des einen Drahts. Statt irgend eines solchen Drahts können wir dann einen andern gleich dicken Draht von einem andern Metall substituiren, dessen Länge wir seinem relativen Leitungsvermögen entsprechend genommen haben, nemlich so, dass er bei dieser Länge dieselbe Wirkung auf den Strom äussern würde, wie der andere Draht.

Aus dem Vorhergehenden wird die Methode, deren sich Davy zur Bestimmung des Leitungsvermögens verschiedener Metalle bedient hat, verständlich. — Eine Säule aus einer gewissen Anzahl von Plattenpaaren ward gleichzeitig durch zwei verschiedene Bogen geschlossen, deren einer einen Wasserzersetzungsapparat enthielt, während der ande-

re aus dem Draht, dessen Leitungsvermögen geprüft werden sollte, bestand. Nun theilt sich die El. nach dem Verhältniss des Leitungsvermögens dieser Bogen zwischen beide, und es wird daher bei immer grösserer Verbesserung des Leitungsvermögens des schliessenden Drahts ein Punkt erreicht werden, wo der Verhältnisstheil von El., welcher durch den andern, den Wasserzersetzungsgapparat enthaltenden, Bogen hindurchgeht, so gering wird, dass die Wasserzersetzung merklich zu seyn aufhört. Davy verglich nun, wie kurz Drähte von verschiedener Materie aber gleicher Dicke genommen werden mussten, um diesen Punkt zu erreichen, und bestimmte hier nach ihr Leitungsvermögen, indem dieses in demselben Verhältniss grösser seyn muss, als die Länge des Drahts unter der angegebenen Bedingung grösser ist.

Diese Methode Davy's steht zwar in Absicht auf Genauigkeit unstreitig derjenigen nach, welche das Leitungsvermögen der Metalle mittelst Ablenkung durch die Magnetsnadel bestimmt, sie verdiente jedoch insofern schon einer besonderen Erwähnung, als Davy es war, welcher mittelst dieser Methode zuerst den entscheidenden Beweis lieferte, dass sich die Leitungsfähigkeit der Metalle für den elektrischen Strom (bei gleichbleibender Länge und Materie) nach der Dicke d. h. nach der Masse richte. Dieses Resultat musste befremden, da man weiss, dass sich die gewöhnliche El. immer nur auf der Oberfläche der Körper verbreitet, und dass das Innere der Körper dabei gar nicht in Betracht kommt. Bei der Vertheilung der gewöhnlichen El. aber handelt es sich von einer ins Gleichgewicht gekommenen El., und auf eine solche ist allerdings blos die *Oberfläche* von Einfluss: hier dagegen handelt es sich von einer *strömenden*, von einer in Bewegung befindlichen E., und die Kraft dieser Strömung hängt von den schon erörterten Umständen ab.

Endlich hat auch die *Temperatur* auf das Leitungsver-

mögen der festen Leiter einen Einfluss, und zwar wird dasselbe mit Erhöhung der Temperatur bedeutend geschwächt. Davy fand, mittelst seines so eben beschriebenen Apparats, dass wenn der verbindende Draht (ein  $\frac{1}{225}$  Zoll dicker Platindraht) unter Oel kalt gehalten wurde, kein Wasser mehr zersetzt wurde, mithin ein sehr geringer Verhältnissheil von El. durch den andern, den Wasserzersetzungssapparat enthaltenden Bogen hindurchgehen konnte, dagegen eine Wasserzersetzung sich einstellte, wenn jener Draht sich in der Luft befand, wo die Entladung denselben erhitze, und daher weniger El. durch ihn, aber mehr durch den den Wasserzersetzungssapparat enthaltenden Bogen hindurchgieng. — Diesen schwächenden Einfluss der Temperaturerhöhung der Leiter auf die Kraft des Stroms hat Davy noch weiter durch folgenden interessanten Versuch, der keiner Erörterung bedarf, nachgewiesen. Man bringt in einer Kette einen 4—5 Zoll langen und so dünnen Platindraht an, dass die durchströmende El. ihn seiner ganzen Länge nach rothglühend macht; versetzt man nun irgend einen Theil desselben durch die Flamme einer Weingeistlampe ins Weissglühen, so erkaltet augenblicklich der Ueberrest des Drahts bis unter die Temperatur des sichtbaren Glühens. Umgekehrt werden, wenn man an eine Stelle eines rothglühenden Drahts ein Stück Eis hält, oder einen Strom kalter Luft auf sie treibt, alle anderen Theile des Drahts viel heisser und kommen vom Rothglühen ins Weissglühen. — In welchem Verhältniss übrigens das Leitungsvermögen der Metalle mit der Temperatur abnehme, ist bis jetzt nicht ausgemittelt: merkwürdig aber ist es, dass das Leitungsvermögen der Metalle genau das umgekehrte ihrer Fähigkeit zu seyn scheint, sich durch die Entladung von selbst zu erhitzen. Bildet man z. B. einen Schliessungsbogen einer kräftigen galvanischen Kette aus aneinander gelötheten abwechselnden Gliedern Platindraht und 4 bis 5 mal dickerem Silberdraht, so werden



die Glieder von Silber nicht merklich warm, alle Glieder von Platin aber kommen heftig und gleichmässig zum Glühen; wirklich leitet auch Silber die El. weit besser als Platin.

Die Metalle sind, wie schon S. 35. erwähnt wurde, die besten Leiter der El.; unter den nicht metallischen Elementen ist nur allein die Kohle ein Leiter, jedoch ein schlechterer, als der schlechteste El.-Leiter unter den Metallen. Silber scheint die El. am besten zu leiten; nach ihm scheint Kupfer, dann Gold, Zink, Eisen, Platin, Zinn, Blei zu folgen. Die Verschiedenheit in den Angaben verschiedener Physiker in dieser Beziehung erklärt sich, wenigstens zum Theil, daraus, dass, bestimmten Erfahrungen zu Folge, das Leitungsvermögen eines Metalls oft durch kleine Beimengungen fremder Metalle bedeutend modificirt wird. — Was die Kohle betrifft, so ist schon S. 32. angeführt worden, dass der Diamant ein Nichtleiter ist. Aber auch die verschiedenen Arten der gemeinen Kohle zeigen sich hinsichtlich ihres Leitungsvermögens höchst verschieden, indem z. B. die Kohle um so besser leitet, je stärker sie geglüht ist, so dass nicht gehörig ausgeglühte Kohle sogar ein Nichtleiter ist. Wie gering übrigens das Leitungsvermögen der Kohle verglichen mit dem der Metalle ist, ergibt sich aus einem Versuch Davy's, wornach ein Stück gut verkohlte Buchsbaumholzkohle von  $\frac{3}{10}$  Zoll Breite,  $\frac{1}{10}$  Zoll Dicke und 1.2 Zoll Länge, in den Schliessungskreis einer voltaschen Säule gebracht, eben so gut leitete als ein 6 Zoll langer Platindraht von  $\frac{1}{220}$  Zoll im Durchmesser, mithin Platin, eines der am schlechtesten leitenden Metalle, dennoch 584.5 mal so gut leiten würde, als eine solche Kohle.

b) Von dem Widerstande, den der Strom in der Flüssigkeit erleidet.

So wie der Strom einen Widerstand bei seinem Durchgang durch metallische Körper erleidet, so erfährt er auch

einen, und zwar ohne alle Vergleichung grösseren, Widerstand bei seinem Durchgang durch Flüssigkeiten. Dieser letztere Widerstand ist aber, wie wir bald sehen werden, von zweierlei Art: man hat nemlich den Widerstand, den der Strom bei seinem Uebergang von einem Metall in eine Flüssigkeit erfährt, wesentlich von demjenigen Widerstand zu unterscheiden, den der Strom, bereits in der Flüssigkeit angelangt, auf seinem Wege durch die Flüssigkeit hindurch erleidet. Die erstere Art von Widerstand können wir durch die Benennung: *Widerstand des Uebergangs*, die letztere, die man früher allein angenommen hatte, durch die Benennung: *eigenthümlicher Widerstand der Flüssigkeit* bezeichnen. Wir werden sehen, dass in den meisten Fällen der Widerstand des Uebergangs über den eigenthümlichen Widerstand der Flüssigkeit das Uebergewicht hat. Will man beide Arten von Widerstand zusammen bezeichnen, so kann dieses durch den Ausdruck: *Widerstand in der Flüssigkeit* geschehen, unter welchem man also sowohl den Uebergangswiderstand, als den eigenthümlichen Widerstand der Flüssigkeit begreift.

Dass überhaupt der Widerstand in der Flüssigkeit (ohne vorerst diese beiden Arten des Widerstands von einander zu unterscheiden) ein sehr beträchtlicher sey, ergibt sich schon aus einer oberflächlichen Betrachtung. Man findet leicht, dass er theils von den Dimensionen, theils von der Materie und Temperatur des flüssigen Leiters abhängig ist. In erster Hinsicht hat man blos nöthig, die Kette bei verschiedenen Abständen der Elektromotorplatten von einander in der Flüssigkeit zu schliessen, um zu finden, dass je grösser die vom Strom zu durchlaufende Strecke der Flüssigkeit wird, um so mehr die Wirksamkeit derselben geschwächt wird, dass dagegen diese Wirksamkeit um so mehr zunimmt, als man die Berührungspunkte der Flüssigkeit mit den Elektromotorplatten, z. B. durch tieferes Ein-

tauchen dieser letzteren, vermehrt, so dass die Dicke der Flüssigkeit vergrößert wird, indem die vom Strom zu durchlaufende Strecke derselben einen grösseren Querschnitt erhält. — In Beziehung auf die Verschiedenheit der Materie der Flüssigkeit findet man, dass die Wirkung des Stroms schwach ist bei destillirtem Wasser, selbst bei Brunnenwasser, aber in eben dem Maasse zunimmt, als man Säuren, Alkalien, oder überhaupt Substanzen, welche den chemischen Process zwischen Metall und Flüssigkeit verstärken, zu letzterer hinzufügt; endlich, dass die Wirkung sich mit Erwärmung der Flüssigkeit verstärkt.

Dass man wirklich die genannten zweierlei Arten des Widerstands in der Flüssigkeit zu unterscheiden habe, ergibt sich aus folgenden Betrachtungen.

1) Wenn man eine Kette das einermal durch einen zusammenhängenden feuchten Leiter, das anderemal durch einen eben solchen Leiter, der aber durch eine oder mehrere homogene Zwischenplatten unterbrochen ist, schliesst, so wird die Wirkung der Kette in letzterem Fall geringer ausfallen, als in ersterem. Man verfährt hiebei gewöhnlich auf die Weise, dass man mehrere Kupferplatten abwechselnd mit frischen Scheiben schichtet, und diese Abwechslungen in den Kreis einer Säule oder Kette bringt; sie werden die Wirkung derselben mehr schwächen, als wenn man dieselben Kupferplatten und dieselben feuchten Scheiben in die Kette bringt, aber so, dass alle Kupferplatten für sich und alle feuchten Scheiben für sich über einander liegen, mithin ein oft wiederholter Uebergang der Flüssigkeit zwischen Metall und feuchtem Leiter vermieden wird. — Da jedoch, wie wir später sehen werden, jede anfangs homogene Zwischenplatte in einer wirksamen Kette allmählig selbst gleichsam ein wirksames Plattenpaar wird, indem sie durch gewisse an ihr vorgehende Veränderungen sich in eine positive und negative Hälfte theilt, welche den Erregern der ursprünglichen Kette

*gerade entgegengesetzt* angeordnet sind und wodurch mithin auf dieselbe Weise eine Schwächung des Stroms hervorgebracht werden muss, wie wenn in einer Säule ein oder einige Plattenpaare verkehrt gelegt werden, so würde es scheinen können, als ob die beobachtete Schwächung des Stroms auf Rechnung dieses Umstandes allein und gar nicht auf Rechnung eines vermehrten Uebergangswiderstandes geschrieben werden müsse, wenn man nicht schon *im ersten Augenblicke* der Schliessung, wo die homogenen Zwischenplatten die genannte elektrische Polarität noch nicht angenommen haben, eine solche Schwächung in der That beobachtete. — Eine ganz befriedigende Beweiskraft für die Existenz eines solchen Uebergangswiderstandes besitzt jedoch diese Thatsache nicht.

2) Einen entscheidenden Beweis aber liefert folgende Thatsache. In Ketten von schlechter Leitungsflüssigkeit und nicht sehr grossen Platten, in welchen mithin der Leitungswiderstand in der Flüssigkeit sehr beträchtlich ist, beträgt der Leitungswiderstand des Schliessungsdrahts nur einen sehr geringen Theil von dem Gesamtwiderstand, weil dieser aus dem Widerstand in der Flüssigkeit und dem Widerstand des Schliessungsdrahts besteht. Gäbe es daher *blos* einen *eigenthümlichen Widerstand* der Flüssigkeit und *keinen Widerstand des Uebergangs*, so müsste, wenn man in solchen Ketten die Platten in den doppelten oder dreifachen Abstand von einander versetzte, auch die Kraft der Kette merklich auf die Hälfte oder den dritten Theil sinken, da, wie wir bald sehen werden, der eigenthümliche Widerstand der Flüssigkeit im geraden Verhältniss des Abstandes, in welchem die Metallplatten in der Flüssigkeit von einander stehen, zunimmt. Man findet aber bei vielen solchen Ketten, dass selbst eine viel stärkere Vergrösserung des Abstandes der Platten die Wirkung nur sehr wenig schwächt, so dass also sowohl der Leitungswiderstand des Drahts als

der eigenthümliche Widerstand der Flüssigkeit gegen einen dritten Widerstand verschwinden, der in der Kette vorhanden seyn muss, und nichts anders seyn kann, als der Widerstand des Uebergangs. Dieser letztere Widerstand kann sich nemlich in dem so eben angeführten Fall nicht ändern, und wenn er an sich sehr gross in Vergleich mit dem eigenthümlichen Widerstand der Flüssigkeit ist, so hängt der Gesamtwiderstand *hauptsächlich* von ihm ab, und es wird daher durch Vermehrung des eigenthümlichen Widerstandes die Kraft der Kette nicht merklich geschwächt werden können.

Diese Ergebnisse erhält man nicht blos in den späteren Wirkungsperioden der Kette, sondern auch dann, wenn man ihre Kraft *sogleich* nach ihrer Schliessung untersucht und wenn man Sorge getragen hat, die Platten vor jedem neuen Versuch frisch zu scheuern. Allerdings aber findet man, dass dieser Widerstand des Uebergangs vom Anfang des Geschlossenseyns der Kette immer mehr zunimmt, so dass er in späteren Perioden ein sehr grosses Vielfache seines anfänglichen Werthes betragen kann, und dass dann sowohl der eigenthümliche Widerstand der Flüssigkeit als des Schliessungsdrahts gegen ihn merklich verschwinden können, wenn dieses auch im Anfange der Schliessung nicht der Fall war. Im Anfange der Schliessung nemlich wird die Kraft einer Kette grösser seyn können, als die Kraft einer andern, wenn in der erstern die Elektromotorplatten weniger weit von einander entfernt sind als in der letzten, wenn daher der eigenthümliche Widerstand der Flüssigkeit in der ersten Kette geringer ist als in der letzten, indem der Strom einen kürzeren Weg durch die Flüssigkeit zu durchlaufen hat, im Uebrigen aber beide Ketten auf ganz gleiche Weise construirt sind; in spätern Perioden wird aber die Kraft des Stroms in beiden Ketten merklich gleich gefunden werden können, weil der Widerstand des Uebergangs, der in beiden Ketten

von Anfang an gleich gross ist, und in beiden gleichmässig wächst, allmählig so gross wird, dass die übrigen Widerstände gegen ihn verschwinden. Da der Widerstand des Uebergangs so schnell zunimmt, so wäre es denkbar, dass er im allerersten Moment der Schliessung noch gar nicht vorhanden wäre: aber schon in wenigen Sekunden ist er jedenfalls sehr merkbar.

Die Umstände, von welchen dieser Widerstand abhängt, sind folgende:

a) Er steht genau im umgekehrten Verhältniss der mit der Leitungsflüssigkeit in Berührung befindlichen Oberfläche der Elektromotorplatten;

b) Er ist in allen spätern Wirkungsperioden der Kette grösser;

c) Er ist geringer für das positive als für das negative Metall der Kette;

d) Er ist um so geringer, je kräftiger die Flüssigkeit chemisch auf die Platten einzuwirken vermag.

Der Gesamtleitungswiderstand der Kette ist mithin aus folgenden partiellen Widerständen zusammengesetzt:

1) *Dem Widerstand der metallischen Theile* der Kette, welcher direct proportional ist der Länge derselben, umgekehrt proportional ihrem auf die Richtung des Stroms senkrechten Querschnitt, und ausserdem noch abhängig von ihrer Materie und Temperatur.

2) *Dem eigenthümlichen Widerstand des flüssigen Leiters* in der Kette, welcher direct proportional ist dem Abstände der Elektromotorplatten von einander in der Flüssigkeit, umgekehrt proportional der mit der Flüssigkeit in Berührung befindlichen Oberfläche der Platten, wofern der Querschnitt der Flüssigkeit und jene Oberfläche in gleichen Graden wachsen.

3) *Dem Leitungswiderstande des Ueberganges*, welcher unabhängig ist von den Dimensionen der schliessenden Leiter,

aber in geradem Verhältniss der chemischen Einwirkung, welche die Elektromotorplatten erfahren, abzunehmen scheint, daher geringer wird durch stärkere Leitungsflüssigkeit, geringer ist im Anfang der Schliessung, wo die Platten die stärkste Einwirkung erfahren, geringer ist für die positiven Platten, die immer stärker von der Flüssigkeit angegriffen werden, als die negativen, endlich im geraden Verhältniss der mit der Flüssigkeit in Berührung befindlichen Oberfläche abnimmt, insofern die Summe der chemischen Einwirkung auf die Platten im Verhältniss dieser Oberfläche zunimmt.

Durch den ausserordentlich grossen Einfluss, den die Grösse der Oberfläche, in welcher die Flüssigkeit mit den Elektromotorplatten in Berührung kommt, auf die Stärke des Stroms hat, so wie durch die Thatsache, dass die chemische Einwirkung der Platten auf die Flüssigkeit eine wesentliche Bedingung des Leitungsvermögens in der Flüssigkeit ist, fanden sich mehrere Physiker bewogen, den eigentlichen Sitz der *Erregung* der Elektrizität in der Kette, nicht sowohl in der Berührung der Metalle unter einander, als vielmehr in ihrer Berührung mit der Flüssigkeit zu suchen. Man hat aus diesem Grunde den Theil der Elektromotorplatten, welcher mit der Flüssigkeit in Berührung kommt, die *erregende Oberfläche* genannt, und pflegt sich dieser kurzen Benennung auch dann zu bedienen, wenn man der so eben erwähnten Ansicht nicht huldigt.

Bei den Versuchen, welche man angestellt hat, um das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten zu bestimmen, hat man die oben genannten beiden Arten des Widerstandes nicht von einander unterschieden; wir werden daher auch dieses Leitungsvermögen, *Leitungsvermögen in der Flüssigkeit* nennen, indem wir beide Arten von Widerstand zusammen nehmen. Da dieses Leitungsvermögen um so grösser ist, je grösser die chemische Einwirkung der Flüssigkeit auf die Metalle ist, so ist klar, dass es nicht möglich ist, die Flüssigkeiten

ihrem Leitungsvermögen nach in einer allgemeinen Reihenfolge aufzustellen, indem dieselbe Flüssigkeit bald schlechter bald besser zu leiten scheinen kann als eine andere, wenn sie einmal mit Metallen combinirt wird, die weniger, ein andermal mit Metallen, die mehr von ihr angegriffen werden, als von der andern Flüssigkeit. Als Belege hiefür, so wie dafür, dass die chemische Einwirkung der Platten auf die Flüssigkeit eine wesentliche Bedingung des Leitungsvermögens in der Flüssigkeit ist, dienen folgende Thatsachen:

1) Wird Zink in Berührung mit irgend einem andern Metall, das einmal durch destillirtes Wasser, das andermal durch rauchendes Vitriolöl zur Kette geschlossen, so erhält man in beiden Fällen nur eine sehr geringe Ablenkung der Magnetnadel, weil weder Wasser noch rauchendes Vitriolöl die Metalle merkbar angreifen. Wird aber das Wasser und Vitriolöl zusammengemischt, und die Kette nun durch die so *verdünnte* Schwefelsäure geschlossen, so erfolgt eine sehr starke Ablenkung der Nadel, weil das Zink von verdünnter Schwefelsäure angegriffen und unter Entwicklung von Wasserstoffgas oxydirt wird. Wasser sowohl als Vitriolöl sind daher in Beziehung auf Zink, welches als Elektromotor in die Kette eingeht, sehr schlechte, wässrige Schwefelsäure dagegen ein sehr guter Leiter.

2) Concentrirte Salzsäure und Salpetersäure wirken für die Combinationen aller leicht oxydirbaren Metalle, selbst wenn sie sehr nahe in der elektrischen Reihenfolge bei einander stehen, wenn daher die elektromotorische Kraft gering ist, als sehr kräftige Leiter, dagegen wirken beide, jede einzeln für sich, sehr schwach, wenn man eine Combination von Gold und Platin darinn prüft, sofern diese beiden Metalle von jeder der genannten einzelnen Säuren nicht angegriffen werden. Mischt man aber Salzsäure und Salpetersäure zusammen, so dass Königswasser entsteht, welches vermöge seines Chlorgehalts beide Metalle angreift



und sich mit ihnen verbindet, so erfolgt eine lebhaftere Wirkung auf die Nadel.

3) Eine Combination von Silber und Gold durch Salzsäure geschlossen wirkt schwach, viel stärker aber, wenn sie durch Salpetersäure geschlossen wird, weil Salzsäure weder Gold noch Silber merkbar angreift, während Salpetersäure das eine dieser beiden Metalle wenigstens, das Silber, sehr leicht angreift. In anderen Fällen dagegen scheint die Salpetersäure nicht bedeutend stärker als die Salzsäure zu wirken, da nemlich, wo auch die Salzsäure die Metalle oder ein Metall leicht angreift.

4) Ein Metall, das von einem andern in der galvanischen Spannungsreihe weiter absteht, als von einem dritten, kann dennoch, mit dem ersteren combinirt, in einer Flüssigkeit schwächer wirken, als wenn es mit dem letzteren combinirt wird, wenn nemlich diese Flüssigkeit stärker auf das letztere Metall einwirkt als auf das erstere. — So wirkt eine Combination von Zink und Platin in Salmiakauflösung und andern Flüssigkeiten schwächer, als eine Combination von Zink und Kupfer, weil das Platin von den Flüssigkeiten im Allgemeinen viel weniger angegriffen wird als das Kupfer, ungeachtet Zink von Platin in der galvanischen Spannungsreihe viel weiter absteht, als von Kupfer.

5) Flüssigkeiten, welche gar keine chemische Einwirkung auf die Metalle äussern, wie z. B. Alkohol und Oele, unterbrechen die Strömung der Kette, wenn sie zur Schliessung derselben angewandt werden.

6) Auch dann, wenn bei anscheinend gänzlich mangelnder chemischer Einwirkung, dennoch eine Strömung, d. h. eine Ablenkung der Magnetaedel erfolgt, zeigen die Metalle, wenn sie sich eine Zeit lang in der geschlossenen Kette befunden haben, doch in mancher Beziehung so veränderte Eigenschaften, dass man auf eine, für das Auge nur nicht sichtbare, durch die Flüssigkeit hervorgebrachte Aen-

derung des Zustandes ihrer Oberfläche schliessen kann. So erhält man allerdings selbst durch Gold und Silber in Salzsäure, durch Gold und Platin in Salzsäure oder Salpetersäure, durch beliebige Metalle in Vitriolöl, eine Ablenkung der Nadel, die wenigstens bei Anwendung der sehr empfindlichen Vorrichtung Nobili's oft sehr bedeutend ist. Die Metalle erleiden in diesen Fällen gar keine sichtbaren Veränderungen. Dass sie aber doch verändert werden, wird später sich ergeben, wenn wir auf die merkwürdigen Erscheinungen der sogenannten *Ladung* zu sprechen kommen werden.

7) Zink und Eisen vermögen bei gewöhnlicher Temperatur nicht das Wasser zu zersetzen, sofern dieses zuvor ausgekocht ist und mithin von dem aus der atmosphärischen Luft aufgenommenen Sauerstoffgas nichts mehr enthält. Daher kann aus Zink und Kupfer mit luftfreiem Wasser keine wirksame Säule aufgebaut werden, wofern die atmosphärische Luft von derselben dadurch abgehalten wird, dass man sie in einen luftleeren oder in einen mit Wasserstoffgas oder Stickgas u. s. f. erfüllten Raum einschliesst. Wird aber in einem solchen Raum die Säule mit lufthaltigem Wasser aufgeschichtet, so zeigt sie sich so lange wirksam, bis der Sauerstoff der im Wasser enthaltenen Luft verzehrt ist; dann hört ihre Wirksamkeit auf und beginnt von Neuem wieder, wenn man atmosphärische Luft hinzutreten lässt. — Auch dann, wenn eine solche Säule mit lufthaltigem Wasser in einem mit atmosphärischer Luft gefüllten aber eingeschlossenen Raum aufgebaut wird, bemerkt man, dass ihre Wirksamkeit bald aufhört, und dass die Luft dann ihres ganzen Sauerstoffgehalts beraubt sich zeigt. — Man errichtet, um dieses zu zeigen, eine solche Säule auf einem mit Wasser umgebenen Untersatz und stürzt eine Glasglocke so über dieselbe um, dass die die Säule umgebende Luft durch Wasser gesperrt wird. In wenigen Augenblicken sieht man das Wasser im Innern der Glocke in die Höhe treten, nach einiger Zeit ist die Absorp-

tion beendigt, und die rückständige Luft zeigt keine Spur von Sauerstoff mehr. — Man sieht aus diesen Erscheinungen, dass die Luft zunächst ihren Sauerstoff an das Wasser abtritt, und dass ihn das Zink dem Wasser entzieht, und auf diese Weise durch Vermittlung des Wassers die Luft ihres Sauerstoffs beraubt wird.

Die *Temperatur* hat auf den Leitungswiderstand in der Flüssigkeit in der Art einen Einfluss, dass eine Erhöhung der Temperatur der Flüssigkeit den Leitungswiderstand vermindert, während umgekehrt Erhöhung der Temperatur der festen Leiter den Leitungswiderstand derselben vermehrt. Dieses rührt offenbar davon her, weil mit der Temperaturerhöhung die chemische Wirksamkeit der Flüssigkeiten im Allgemeinen zunimmt, daher man es zuträglich findet, die Papp- oder Tuch-Scheiben, die mit Flüssigkeit getränkt die feuchten Leiter der Säule darstellen, mit *wärmer* Flüssigkeit zu netzen. Je grösser übrigens das Leitungsvermögen in der Flüssigkeit schon an sich ist, desto weniger wird die Wirksamkeit der Kette durch Temperaturerhöhung der Flüssigkeit verhältnissmässig verstärkt.

Von den in Anwendung gebrachten Methoden, den Leitungswiderstand der Flüssigkeiten zu bestimmen, will ich hier nur einige andeuten.

1) Man bringt in die Kette einer Säule, die auf einen gleichförmigen Zustand der Wirksamkeit herabgekommen ist, einen Wasserzersetzungsapparat und zugleich eine Röhre ein, die successiv mit verschiedenen Flüssigkeiten gefüllt wird. Je mehr Wasser in der gleichen Zeit zersetzt wird, oder je kleiner die Zeit ist, welche erfordert wird, um die gleiche Menge von Gas durch Wasserzersetzung zu erhalten, desto geringer ist der Leitungswiderstand der in der Röhre eingeschlossenen und in den Kreis der Kette gebrachten Flüssigkeit.

Bei solchen Versuchen befand sich die Flüssigkeit in der

der Röhre zwischen Platindrähten, und da das Platin von keiner der dem Versuch unterworfenen Flüssigkeiten angegriffen wird, so würde man glauben können, dass die erhaltenen Resultate, insofern sie von einer chemischen Action unabhängig sind, absolute Gültigkeit besitzen, wenn nicht, wie schon erwähnt wurde, die Metalle auch in diesen Fällen eine, wenn gleich nicht sichtbare, Aenderung erlitten, und daher der Fall denkbar wäre, dass der Leitungswiderstand der Flüssigkeiten, wenn diese durch Vermittlung anderer Metalle in den Kreis der Kette gebracht würden, dennoch anders sich verhalten könnte, selbst dann, wenn diese anderen Metalle, wie z. B. Gold, ebenfalls keine sichtbare chemische Einwirkung von den Flüssigkeiten erleiden.

2) Man taucht zwei Platinplatten nach einander in ein mit den Flüssigkeiten, deren Leitungswiderstand geprüft werden soll, gefülltes Gefäss und bringt diese Platten in den Kreis einer Säule, in der sich zugleich ein Multiplicator befindet. — Je grösser die Ablenkung der Nadel ist, desto geringer ist der Leitungswiderstand der Flüssigkeit.

De la Rive hat mittelst dieser letzteren Methode das Resultat erhalten, dass Salpetersäure zwischen Platin den geringsten Leitungswiderstand äussert, dann folgt Salzsäure, dann Schwefelsäure. Sehr verdünnte Salpetersäure bringt einen stärkeren Leitungswiderstand hervor, als concentrirte, dagegen Schwefelsäure, selbst sehr verdünnte, einen geringeren, als concentrirte. Nach den genannten Säuren folgen die Salzaufösungen, dann Kalilauge und Ammoniak-Flüssigkeit, die sich fast gleich verhalten.

Es ist übrigens kaum nöthig zu bemerken, dass die bei solchen Versuchen entwickelten Gasmengen oder Ablenkungsgrössen der Nadel für kein wirkliches *Maass* des Leitungswiderstandes der Flüssigkeiten zu nehmen seyen, denn in diesem Fall müsste die in die Kette gebrachte Flüssig-

keit, deren Leitungswiderstand untersucht wird, den Gesamtwiderstand der Kette ausmachen, von dem ihr eigener Widerstand doch in der That nur einen kleinen Theil ausmacht; es folgt hieraus, dass die Differenzen zwischen dem Leitungsvermögen jener Flüssigkeiten wirklich viel grösser sind, als die durch die erwähnten Versuche gefundenen Zahlenwerthe sie ausdrücken. Man sieht dieses leicht an der ausserordentlichen Zunahme der Wirksamkeit einer Kette, deren Gesamtwiderstand gering ist (wie namentlich bei einer einfachen Kette), wenn man zuerst ihre Kraft untersucht, nachdem man sie durch destillirtes Wasser geschlossen hat, und hierauf, nachdem man dem Wasser einige Tropfen einer Säure oder ein wenig Salz zugesetzt hat.

Dass das Leitungsvermögen der Metalle ohne alle Vergleichung grösser sey als das der Flüssigkeiten, ist schon erwähnt worden. Cavendish gibt an, dass Eisendraht 400 Millionmal besser als destillirtes Wasser leite, und Pfaff fand, dass eine zwischen vergoldeten Messingplatten befindliche concentrirte Salmiakauflösung, die doch zu den besten flüssigen Leitern gehört, einen Querschnitt von 6 Quadratzoll haben musste, um, anstatt eines Eisendrahts von  $\frac{1}{41236}$  Quadratzoll in die Kette substituirt (bei gleichen Längendimensionen), dieselbe Ablenkung der Magnetenadel hervorzurufen. Da, bei gleicher Länge, sich das Leitungsvermögen der Körper umgekehrt wie die Grösse ihres Querschnitts verhält, so würde hieraus folgen, dass das Leitungsvermögen des Eisens sich zu dem der Salmiakauflösung  $= 6 : \frac{1}{41236} = 247416 : 1$  verhält, mithin ersteres 247416 mal grösser als letzteres ist.

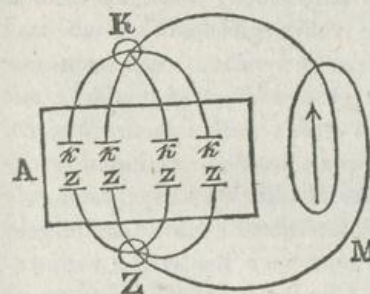
Wir haben S. 765. die Umstände kennen gelernt, von welchen sowohl der eigenthümliche Widerstand der Flüssigkeit als der Widerstand des Uebergangs abhängt. Es muss nun noch gezeigt werden, wie eine Kette eingerichtet

werden muss, wenn der Querschnitt der Flüssigkeit in gleichem Grade mit der sogenannten erregenden Oberfläche wachsen soll, in welchem Fall mithin auch der eigenthümliche Widerstand der Flüssigkeit und der Widerstand des Uebergangs gleichzeitig abnehmen müssen; wie dagegen eine Kette, beschaffen seyn muss, wenn *blos* die erregende Oberfläche vergrößert werden soll, während die Dimension der Flüssigkeit ungeändert bleibt.

Um der zuerst genannten Forderung zu genügen, gibt man der Kette folgende Einrichtung.

Man setzt die Platten in einen Trog ein, dessen Querschnitt gerade von denselben ausgefüllt wird. Giesst man nun allmählig Flüssigkeit in den Trog, so ist es klar, dass die erregende Oberfläche und der Querschnitt der Flüssigkeit in gleichem Verhältniss wachsen müssen.

Der zweiten Forderung wird z. B. durch folgende Einrichtung der Kette entsprochen.



In einem mit Oelfirniss ausgegossenen Trog von Eichenholz sind in dem Boden, oder in Leisten, die auf dem Boden befestigt werden, in genau abgemessenen Entfernungen enge Einschnitte angebracht, so dass Platten, die in dieselben

eingesetzt werden, aufrecht stehen. In diese Einschnitte nun werden auf einer Seite eine gewisse Anzahl Zinkplatten z, z, z, z, ihnen gegenüber eine eben so grosse Anzahl Kupferplatten k, k, k, k, eingesetzt, und sowohl die Zink- als die Kupfer-Platten zu Einer erregenden Oberfläche dadurch vereinigt, dass man Drähte von ihnen aus in die mit Quecksilber gefüllten Gefässe Z und K (oder statt eines Gefässes Z und eines Gefässes K, in mehrere, die durch Drähte mit einander verbunden sind) leitet, in

welche zugleich die Enddrähte des Multiplators M tauchen. Durch Einsenken und Herausziehen der einzelnen Drähte aus den Quecksilbergefässen kann man dann eine beliebige Anzahl Platten in die erregende Oberfläche aufnehmen oder aus ihr weglassen. Die Drähte müssen kurz und dick seyn, damit ihr Widerstand gegen den Widerstand des Multiplikatordrahts vernachlässigt werden kann.

In Beziehung auf die Wirkungsverstärkung durch die erregende Oberfläche ist Folgendes zu berücksichtigen.

1) Diese Verstärkung beruht einzig und allein auf Vergrößerung der mit der Flüssigkeit in Berührung kommenden Fläche; daher wirkt das grösste Plattenpaar dem kleinsten *ganz gleich*, wenn beide (bei gleicher Breite) zu gleicher Tiefe in dieselbe Flüssigkeit eingetaucht werden; daher wird man auch durch Ansatz metallischer Platten an die Erregerplatten *ausserhalb* der Flüssigkeit ihre Wirkung weder merklich verstärken noch schwächen; daher ist es auch bei dem Aufbau einer Säule völlig gleichgültig, ob man grosse oder kleine Platten dazu anwendet, *wenn man nur den grossen Platten keine grössere Berührungsfläche mit den feuchten Zwischenleitern geben will, als den kleinen*. Je inniger übrigens die Berührung der Platten mit den feuchten Scheiben ist, desto grösser ist die Wirkung; denn jede trocken bleibende oder nicht hinreichend genässte Stelle geht für die erregende Oberfläche ganz oder theilweise verloren. Daher befördert ein mässiger Druck auf die Säule, wenn er nur nicht so stark ist, dass er die Flüssigkeit zum Auslaufen und Herabfliessen bringt, ihre Wirkung, wovon man sich sehr leicht mittelst des Multiplators überzeugen kann.

2) Diese Verstärkung der Wirkung durch Vergrößerung der erregenden Oberfläche wird *nicht* erhalten, wenn man eine Kupfer- oder Zink-Platte (wir wollen annehmen, es sey eine Kupferplatte) in ein gesondertes Gefäss voll Flüssigkeit taucht, und sie dann metallisch mit der entspre-

chenden (Kupfer) Platte einer Kette verbindet, die sich in einem *andern* Gefäss angeordnet findet; es ist dann gerade so, als wenn man die Platte schlechthin in der Luft angefügt hatte; diese Verstärkung tritt aber ein, wenn man in dem ersteren, gesonderten Gefäss neben die Kupferplatte eine Zinkplatte eintaucht und auch diese mit einer Zinkplatte in dem andern Gefäss verbindet. Jedes Gefäss für sich enthält dann eine Kette, die aber durch die verbindenden Drähte zu einer einzigen verbunden ist.

3) Man findet, dass es für die Wirkung vollkommen gleichgültig ist, ob man dieselbe Grösse der erregenden Oberfläche in Einer Zelle anwendet, oder sie in zwei verschiedene Zellen vertheilt, (indem man einmal ein einziges Plattenpaar in einer *ganz* gefüllten Zelle, ein anderesmal zwei metallisch verbundene Plattenpaare in zwei dergleichen *halb* gefüllten Zellen anwendet. Resultate, die an Ketten gefunden werden, welche auf letztere Art zusammengesetzt sind, lassen sich daher auf einfache Plattenpaare, von gleicher erregender Oberfläche, als die Summe jener beträgt, übertragen.

Diese Wirkungsverstärkung, welche die Säule durch Vergrößerung der erregenden Oberfläche erfährt, scheint blos darauf zu beruhen, dass der Leitungswiderstand vermindert wird, indem der Strom einen leichteren Weg durch eine grosse als durch eine kleine Berührungsfläche des Metalls mit der Flüssigkeit findet.

Ich habe schon oben (S. 766.) die gegentheilige Ansicht angeführt, nach welcher die Flüssigkeiten nicht durch ihren verschiedenen grossen Leitungswiderstand einen Einfluss auf die Stärke des Stroms ausüben, sondern durch ihre Berührung mit den Metallen die El. selbst erregen sollen. Es ist hierüber schon lange ein interessanter Streit geführt worden, und die zuletzt erwähnte Ansicht hat noch in neuester Zeit an De la Rive einen gewichtigen Verfechter gefunden. Ich werde diesen Streit später ausführlicher erör-



tern und führe hier nur einen Versuch von Fechner an, der einen entscheidenden Beweis gegen die Richtigkeit der so eben angeführten Ansicht zu liefern scheint. Wenn man in einem mit Wasser gefüllten Trogapparat eine paare Anzahl (durchaus homogener) Zink - Kupferplattenpaare zu einer Kette so anordnet, dass die eine Hälfte der Elemente einen entgegengesetzten Strom hervorzubringen strebt, als die andere, so ist die Wirkung dieser Kette Null, weil sich ihre gleichen und entgegengesetzten Ströme wechselseitig compensiren. Diese Wirkung ist aber auch dann noch Null, wenn man die erregende Oberfläche der Elemente in den Zellen einer Seite beliebig grösser macht, als bei den entgegengesetzt disponirten, indem man die ersteren Zellen viel höher mit Wasser anfüllt; ja die Wirkung ist, wenigstens im ersten Augenblicke, selbst dann noch Null, wenn man in die Zellen, worinn die grösseren erregenden Oberflächen enthalten sind, eine beliebige Menge Salzsäure hinzufügt. In letzterem Falle besteht das Gleichgewicht zwar nur im ersten Augenblick, denn allmählig tritt eine Ablenkung der Magnethadel ein, aber, was wohl zu bemerken ist, diese Ablenkung zeigt ein wachsendes Uebergewicht gerade derjenigen Paare an, welche in den Zellen mit unverändert schwach gebliebener Flüssigkeit sich befinden, und die kleinere erregende Oberfläche besitzen; kurz der Effect ist so beschaffen, als wenn die Säule blos aus diesen letzteren Plattenpaaren construirt, und die andern entgegengesetzt angeordneten Plattenpaare von grösserer erregender Oberfläche mit einer besseren leitenden Flüssigkeit in Berührung, gar nicht vorhanden wären. Dieser Erfolg erklärt sich nach der Contacttheorie sehr leicht. Die Salzsäure wirkt blos durch Verminderung des Leitungswiderstandes; *diese Verminderung kommt aber der Elektrizität der Plattenpaare in den Zellen ohne Säure eben so gut auf ihrem Kreislauf durch die ganze Kette zu statten, als der Elektrizität der*

*Plattenpaare, die sich unmittelbar in der sauren Flüssigkeit befinden.* Dagegen greift die Salzsäure die letzteren Platten allmählig an, vermindert so ihren elektromotorischen Gegensatz und gibt gerade dadurch denjenigen Platten das Uebergewicht, welche in der Flüssigkeit sich befinden, die eine ganz schwache chemische Einwirkung auf sie ausübt.

Die *Quantität* der erzeugten El. ist daher zunächst weder von der Grösse der erregenden Oberfläche noch von der Beschaffenheit der Leitungsflüssigkeit abhängig: eine grössere erregende Oberfläche und eine bessere Leitungsflüssigkeit bewirken blos, dass sich die erzeugte El. schneller bewegt, dass also allerdings, insofern augenblicklich wieder neue El. erzeugt wird, in einer gegebenen Zeit mehr El. durch einen gegebenen Raum hindurch sich bewegt. In dem so eben erwähnten Versuch kann aber diese vermehrte Schnelligkeit der Bewegung der El. keinen Einfluss auf das Resultat haben, weil sie beiden entgegengesetzten Strömen auf gleiche Weise zu gut kommt, und der Erfolg hängt daher allein von der durch die Säure bewirkten Verminderung der elektromotorischen Kraft ab, welche die in die saure Flüssigkeit getauchten Plattenpaare erfahren.

Da nun also die Wirkungsverstärkung durch die erregende Oberfläche blos von Verminderung des Leitungswiderstandes abhängig ist, so werden sich (bei Voraussetzung solcher Ketten, in denen der Querschnitt der Flüssigkeit in gleichem Grade mit der erregenden Oberfläche wächst, mithin der eigenthümliche Widerstand der Flüssigkeit und der Widerstand des Uebergangs gleichzeitig abnehmen) mit Rücksicht auf die oben S. 738. erörterte Formel, welche die Kraft der Säule repräsentirt, folgende Bestimmungen für die erregende Oberfläche ergeben:

1) Die Kraft des Stroms nimmt im Allgemeinen in einem geringeren Verhältniss, als die erregende Oberfläche zu, in merklich gleichem Verhältniss jedoch dann, wenn der Wi-

derstand der festen Leiter gegen den Widerstand in der Flüssigkeit verschwindet, wenn also der letztere Widerstand nahe den Totalwiderstand der Kette repräsentirt. — Dieses ist bei vielplattigen Säulen der Fall, welche durch *nicht gar zu lange metallische Leiter* geschlossen werden; es ist aber nicht mehr der Fall, wenn solche Säulen durch schlechtere Leiter, z. B. durch Flüssigkeiten oder den menschlichen Körper geschlossen werden.

2) Je weiter man die Vergrößerung der erregenden Oberfläche treibt, desto geringer wird verhältnissmässig die entsprechende Zunahme von Kraft, und zuletzt kommt man auf eine Grenze, über welche hinaus weitere Vergrößerung der erregenden Oberfläche nichts *Merkliches* mehr zur Wirkungsverstärkung beiträgt. — Die Wirkung einer Säule von einer gegebenen Anzahl Plattenpaare, deren, von der *Grösse* dieser Plattenpaare unabhängige, elektromotorische Kraft mithin constant ist, wird zwar mit Vergrößerung der erregenden Oberfläche beständig zunehmen; wenn aber dadurch der Widerstand in der Flüssigkeit einmal so weit vermindert ist, dass er gegen den Widerstand des festen Leiters nahe verschwindet, so wird eine weitere Vergrößerung der erregenden Oberfläche keine durch unsere Beobachtungsmittel erkennbare Verstärkung der Kraft mehr hervorbringen können.

3) Das so erreichbare Maximum der Wirkung wird um so früher erreicht werden, je geringer der Leitungswiderstand in der Flüssigkeit im Verhältniss zum Leitungswiderstand der festen Leiter ist, und um so später, je mehr das umgekehrte Verhältniss statt findet. Die *Grösse* dieses Maximums ist unabhängig von der Stärke der Leitungsflüssigkeit, ist aber um so geringer, je grösser der Leitungswiderstand des Drahts ist. — Je geringer nemlich der Leitungswiderstand in der Flüssigkeit *an sich* im Verhältniss zu dem der festen Leiter ist, um so früher wird er mit Vergrößerung

der erregenden Oberfläche gegen den letzteren verschwinden, d. h. das Maximum der Wirkung erreicht werden und umgekehrt. Die Stärke der Leitungsflüssigkeit hat auf die Grösse des Maximums keinen Einfluss; eine bessere Leitungsflüssigkeit bewirkt blos, dass der Leitungswiderstand in der Flüssigkeit gegen den des festen Leiters *früher*, d. h. bei geringerer Vergrösserung der erregenden Oberfläche, verschwindet. Dagegen ist die Grösse des Maximums um so geringer, je grösser der Leitungswiderstand des Drahts ist, denn dieses Maximum würde dann erreicht, wenn der Leitungswiderstand in der Flüssigkeit  $= 0$ , mithin die Kraft der Kette der elektromotorischen Kraft dividirt durch den Leitungswiderstand des Drahts gleich würde.

Ausserdem kommen hier noch einige später zu erörternde Umstände in Betracht, die sich auf die Perioden der Wirksamkeit der Kette und die relativen Dimensionen der negativen und positiven Platten beziehen.

In dieser letzteren Beziehung ist es eine sehr merkwürdige Thatsache, dass die Wirkung der Kette unverhältnissmässig schneller abnimmt, wenn man eine grosse positive Platte einer kleinen negativen entgegensetzt, als im umgekehrten Fall. Dieses Uebergewicht der Wirkung, welches die Vergrösserung der negativen vor der der positiven Fläche voraus hat, ist übrigens nur eine Erscheinung der späteren Perioden der Ketten, indem für die erste Zeit nach der Schliessung, die Wirkung *fast* die gleiche ist, man mag z. B. eine Zinkplatte einer 10mal grösseren Kupferplatte, oder eine 10mal grössere Zinkplatte als zuvor, einer Kupferplatte entgegensetzen. Der Nutzen einer, im Vergleich mit der positiven, viel grösseren negativen Platte scheint darin begründet zu seyn, dass der Leitungswiderstand des Uebergangs auf dem negativen Metall viel schneller zunimmt, als auf dem positiven, während er in dem ersten Augenblick der Schliessung sich für beide gleich zu verhalten scheint.

Dieser Leitungswiderstand nun wird durch Vergrößerung der negativen erregenden Oberfläche geschwächt und somit die Wirkung verstärkt. — Bei der Construction voltascher Ketten wird häufig auf diesen Umstand Rücksicht genommen, indem man einer jeden der beiden Flächen einer Zinkplatte eine Kupferplatte gegenüber stellt.

#### Ladungs-Erscheinungen.

Eine andere gleichfalls höchst interessante Thatsache, welche einen Einfluss auf die Wirksamkeit der Säule in den verschiedenen Perioden vom Augenblick der Schliessung an ausübt, ist diejenige, welche man mit dem Namen der *Ladung* bezeichnet. Sie ist folgende. Wenn ein Metall eine Zeit lang als negatives Glied in einer geschlossenen einfachen oder zusammengesetzten Kette sich befunden hat, so zeigt es nach Wiedereröffnung der Kette ein verändertes elektromotorisches Verhältniss; es wird sich nemlich jetzt, gegen ein anderes ihm vorher gleichartiges Metall geprüft, mit welchem es vorher keine El. zu erkennen gab, deutlich *positiv* verhalten.

Man hatte früher angenommen, diese Erscheinung rühre davon her, dass das Metall einen Theil der El., von welcher es in der Kette durchströmt wurde, hartnäckig zurückhalte, und bezeichnete dieses Phänomen eben desswegen mit dem Namen der *Ladung*. Die Unrichtigkeit dieser Annahme ergibt sich jedoch einfach daraus, dass ein solches Metall nie Zeichen freier El. am Elektroskop zu erkennen gibt, und dass sich der Einfluss der Ladung blos durch die Aenderung des elektromotorischen Verhältnisses nachweisen lässt.

Man kann die Erscheinung der Ladung sehr leicht auf folgende Art nachweisen. Man schliesse eine Zinkplatte und Kupferplatte, die in Säure- oder Salz- haltiges Wasser eingetaucht werden, durch den Multiplicator zur Kette. Nach einigen Minuten ziehe man die Zinkplatte heraus und

substituire ihr eine, der ersten Kupferplatte homogene, Kupferplatte, so wird man jetzt einen ziemlich starken Strom von einer solchen Beschaffenheit erhalten, dass sich das zuerst eingetauchte Kupfer als positiv gegen das frische verhält. Der Strom wird jedoch allmählig an Stärke abnehmen und nach einiger Zeit ganz verschwinden. — Man könnte auch die *Kupferscheibe* heraus nehmen, abtrocknen und gegen eine frische Kupferplatte in einer andern Flüssigkeit prüfen: da jedoch die Berührung mit der Luft den positiven Ladungszustand der Metalle zu zerstören strebt, so ist die vorhin genannte Methode vorzuziehen. —

Man sollte erwarten, dass, während das negative Glied der Kette eine positive Ladung annimmt, das positive Glied derselben umgekehrt eine negative Ladung annehmen werde. Dieses ist jedoch entweder gar nicht oder jedenfalls nur in einem geringen Grade der Fall, selbst wenn die Kette sehr lange Zeit hindurch geschlossen blieb. Wenn auch die ganze Oberfläche des positiven Metalls, Zink oder Zinn, unter dem Einfluss der Kette geschwärzt wird, so tritt doch keine merkbare Ladung ein, während eine sehr starke Ladung des negativen Metalls, namentlich bei den edlen Metallen, oft von keiner für das Auge sichtbaren Veränderung der Oberfläche begleitet ist. — Die positive Ladung eines Metalls lässt sich wieder aufheben, wenn man es zum positiven Glied einer Kette macht, wenn man z. B. das durch Schliessung mit Zink positiver gewordene Kupfer mit Graphit oder Platin (die negativer als Kupfer sind) zur Kette schliesst. Auch durch Erhitzung oder durch längeres Aussetzen an die Luft verliert sich die Ladung wieder, soll sich dagegen erhalten, wenn man das Metall im Verschlussenen aufbewahrt.

Ob der Mangel an Ladung des positiven Metalls darinn seinen Grund habe, dass, dem Wesen der Kette zufolge, eine negative Ladung überhaupt schwerer erfolgt, als eine

positive, oder ob die negativen Metalle der galvanischen Spannungsreihe überhaupt geschickter sind, eine Ladung, positive oder negative, anzunehmen, eine positive Ladung aber deswegen leichter annehmen als eine negative, weil man durch ihre Anwendung als negative Glieder überhaupt wirksamere Säulen construiren kann, als wenn man sie mit noch negativeren Substanzen verbindet, ist noch nicht mit Bestimmtheit entschieden, letzteres jedoch wahrscheinlicher.

Der Ladungszustand der festen Leiter lässt sich auch auf die Weise hervorbringen, dass man zwei Drähte oder Streifen von demselben festen Leiter (Metalle, Kohle, Graubraunstein-erz) in eine durch den Strom zersetzbare Flüssigkeit (z. B. in eine mit Wasser gefüllte Röhre) taucht, und nun durch die andern Enden derselben die beiden Pole einer Säule schliesst. Nimmt man diese Drähte oder Streifen nach einiger Zeit aus der Flüssigkeit heraus, während man zugleich ihre Verbindung mit den Polen der Säule aufhebt, so werden sie, wenn man sie nun selbst durch einen Multiplicator und eine Flüssigkeit zur Kette schliesst, einen Strom hervorbringen, und derjenige Draht, welcher mit dem negativen Pol in Verbindung gestanden hatte, wird sich positiv gegen den andern verhalten, der mit dem positiven Pol in Verbindung war. — Auch hier geht die Ladung von selbst wieder mit der Zeit verloren, und zwar um so früher, je schwächer sie war. —

Um das Maximum der Ladung zu erhalten, wird eine gewisse Zeit erfordert, auch ist dieses Maximum unter verschiedenen Umständen verschieden und ist namentlich grösser, je lebhafter der chemische Process in der Gaszersetzungs-röhre ist. So bringt blosses Wasser, in welches man die Drähte leitet, keine merkliche Ladung hervor, Kochsalzauf-lösung schon eine merkliche und Salmiakauflösung eine noch stärkere. Je stärker ferner der Strom und ein je besserer Leiter die Flüssigkeit in der Röhre ist, eine um so kürzere

Zeit wird erfordert, das Maximum der Ladung hervorzu-  
bringen. Dieses Maximum der Ladung nimmt dann all-  
mählig mit Abnahme der Wirksamkeit der Säule wieder ab,  
auch wenn die Drähte mit der Säule in Verbindung blei-  
ben; bei einem kräftigen Strom sind schon 6—8 Minuten  
zur Hervorbringung des Maximums der Ladung hinreichend:  
bei geschwächter Wirksamkeit der Säule wird eine halbe  
bis ganze Stunde erfordert. Reiben oder Waschen der ge-  
ladenen Drähte hebt die Ladung nicht auf, sondern vermin-  
dert sie bloß bis auf einen gewissen Grad.

Pfaff fand die festen Leiter ganz in demselben Ver-  
hältniss geeigneter zur Annahme der Ladung, als sie dem  
negativen Ende der galvanischen Spannungsreihe näher stan-  
den, und die angenommene Ladung verlor sich auch in dem-  
selben Verhältniss um so schneller, je mehr die Leiter von  
diesem negativen Ende entfernt waren, so dass z. B. Zink,  
welches überhaupt eine sehr schwache Ladung annahm,  
dieselbe fast augenblicklich wieder verlor. Bei diesen Ver-  
suchen wurde jedoch nicht untersucht, ob nicht auch der  
mit dem positiven Pol in Verbindung stehende Draht eine  
eben so starke negative Ladung annahm, wie der negative  
Draht eine positive, ob also nicht ersterer auch mit einem  
*frischen* Draht geprüft, sich eben so stark negativ verhielt,  
wie sich letzterer gegen einen solchen frischen Draht positiv  
verhält.

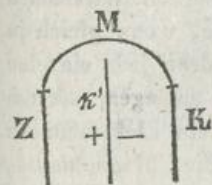
Die Ursache der Ladungserscheinungen ist zur Zeit noch  
unbekannt. Man vermuthete, die Metalle, welche sich  
laden, verbinden sich mit einer kleinen Menge eines durch  
die Zersetzung der Flüssigkeit entstandenen Körpers; so  
dass sich also die negativen Elektromotorplatten oder die mit  
dem negativen Pol in Verbindung stehenden Drähte mit ein-  
nem elektropositiven Körper, namentlich dem Wasserstoff  
verbinden würden. Es liesse sich wohl denken, dass  
eine solche Verbindung des Metalls mit Wasserstoff keine



sichtliche Veränderung seiner Oberfläche hervorbrächte, dass aber dennoch eine auch sehr kleine Menge des mit dem Metall sich verbindenden Körpers das elektromotorische Verhältniss des Metalls bedeutend ändern könnte. Das Verschwinden der Ladung an der Luft u. s. f. würde sich durch Zersetzung der nur unter dem Einfluss des Stroms möglich gemachten Verbindung mittelst einer desoxydirenden Wirkung der Luft u. s. f. erklären. — Der Umstand jedoch, dass gerade die positiven Metalle, welche stärker als die negativen von Flüssigkeiten angegriffen werden, weit weniger geneigt sind einen Ladungszustand anzunehmen, als die negativen, widerspricht dieser Erklärungsweise. Zwar könnte man vermuthen, die Ladung sey hauptsächlich durch die Verbindung der Metalle mit einem positiven Körper, namentlich mit Wasserstoff bedingt: aber dann würde sich ein negatives Metall, welches mit dem positiven Pol einer Säule in Verbindung gesetzt wird, nicht laden können, während es sich doch aller Wahrscheinlichkeit nach eben so stark negativ ladet, als der mit dem negativen Pol verbundene Draht positiv geladen wird. Auch will man beobachtet haben, dass nicht bloß die innerhalb der Flüssigkeit befindlichen Theile der Drähte, sondern selbst die ausserhalb derselben hervorragenden, welche mit der Flüssigkeit gar nicht in Berührung kommen, Zeichen von Ladung, wenn gleich einer viel schwächeren, darbieten, als die mit der Flüssigkeit in Berührung gewesenen. Auch dieser Umstand ist der so eben angeführten Erklärung der Ladung ungünstig.

Mehrere haben daher die Ursache der Ladung in einer Veränderung der Molecularanordnung in den geladenen Metallen gesucht, eine Ansicht, die weder bewiesen noch widerlegt ist. Doch sieht man, wenn die Ladung von einer chemischen Aenderung unabhängig gemacht wird, nicht ein, warum sie vorzugsweise nur in Berührung mit der Flüssigkeit erscheint.

Die Erscheinungen der Ladung zeigen sich nicht bloß an den Elektromotoren selbst und an den Polardrähten der Säulen, sondern auch an homogenen Metallen, die man ir-



gendwo in den flüssigen Leiter einer Kette einschleibt. Schiebt man z. B. in die Flüssigkeit einer einfachen Zinkkupferkette, die durch den Draht M geschlossen ist, eine Kupferplatte K' ein, so nimmt ihre der Kupferplatte des Elek-

tromotors zugekehrte Fläche eine negative und die der Zinkplatte zugekehrte eine positive Ladung an. Ebenso, wenn man eine Kupferplatte zwischen zwei feuchte Pappscheiben einer zusammengesetzten geschlossenen Zinkkupferkette einschleibt, so nimmt diejenige Fläche der Platte, welche der Kupferplatte des nächsten Elektromotorpaars zugekehrt ist, eine negative, und die andere, der Zinkplatte des nächsten Elektromotorpaars zugekehrte eine positive Ladung an. Wenn z. B. das Zinkende einer vertikalen Säule auf dem Boden ruht, und die Säule in folgender Ordnung aufgebaut ist: Zink, Kupfer, feuchter Leiter; Zink, Kupfer, feuchter Leiter; Kupferplatte; feuchter Leiter; Zink, Kupfer, feuchter Leiter u. s. f., so nimmt die *untere* Fläche der eingeschlossenen Kupferplatte eine negative, die *obere* eine positive Ladung an. Wenn man daher die Pole einer solchen zusammengesetzten Kette durch zwei feuchte Pappscheiben, zwischen welche eine homogene Kupferplatte eingeschoben ist, schließt, so wird die dem Zinkpol zugekehrte Fläche der Kupferplatte eine positive, die dem Kupferpol zugekehrte eine negative Ladung annehmen. Man kann auf solche Weise, wenn man eine Säule als Kette zur Bewirkung der Ladung anwendet, auch mehrere homogene Zwischenplatten auf einmal laden, indem man sie abwechselnd mit feuchten Scheiben schichtet, und diese, aus Abwechslungen bloß eines Metalls und einer Flüssigkeit bestehende Säule in den Kreis

der wirksamen Säule aus heterogenen Metallen bringt, d. h. sie mit deren Polen in Verbindung setzt. Nimmt man, nachdem die Schliessung einige Zeit gedauert hat, diese secundäre Säule aus dem Kreise der ursprünglich wirksamen Säule heraus, so stellt sie nun selbst eine, wenn gleich in schwächerem Grade wirksame Säule dar, denn jede einzelne homogene Platte derselben ist vermöge der entgegengesetzten Ladung ihrer entgegengesetzten Flächen ein Elektromotor: sie wirkt auf das Elektroskop und die Magnetnadel, zersetzt Wasser, ertheilt Schläge; ihre Wirkung aber nimmt allmählig ab und verschwindet von selbst, wie die Ladungsphänomene überhaupt; will man sie wieder herstellen, so muss sie von Neuem in den Kreis einer wirksamen Säule gebracht werden. Eine solche aus bloß Einem Metall und Einer Flüssigkeit gebildete, durch Ladung wirksam gewordene Säule hat man *secundäre Säule* oder *Ladungssäule* genannt. — Dass eine solche Ladungssäule die Kraft der ursprünglichen Säule in dem Maasse, als sie sich geladen hat und als die Anzahl der Zwischenplatten im Verhältniss zur Anzahl der Platten in der ursprünglichen Säule grösser ist, schwächen müsse, folgt schon nothwendig daraus, dass die Platten der Ladungssäule wirkliche Elektromotoren darstellen, die den Elektromotoren der ursprünglichen Säule entgegengesetzt angeordnet sind, mithin einen analogen Effect auf die Kraft der Säule ausüben müssen, wie wenn in dieser Plattenpaare verkehrt aufgeschichtet werden. Die Schwächung der Kraft der ursprünglichen Säule rührt allerdings nicht allein von der erlangten Ladung der Ladungssäule, sondern auch von dem vermehrten Widerstand des Uebergangs her, der durch die in die Kette gebrachten Zwischenplatten hervorgebracht wird. Dass jedoch dieser Widerstand seinerseits auch nicht allein die Schwächung der Kraft der ursprünglichen Säule bewirke, wird noch weiter auf das Bestimmteste dadurch bewiesen, dass die Wirk-

sam-

samkeit zunimmt, wenn man die Pole der secundären Säule, nachdem sie eine Zeitlang im Kreise der ursprünglichen Säule gewesen sind, in verwechselte Verbindung mit den Polen der letzteren bringt, so dass dann der Strom der secundären Säule und der ursprünglichen Säule nach derselben Richtung laufen, und dass im Anfang der Wirksamkeit die Schwächung einer Zinkkupferkette durch homogene Zwischenplatten ganz in gleichem Grade erfolgt, diese mögen von Kupfer oder von Zink seyn, in späteren Wirkungsperioden der Kette aber die Schwächung durch Zink kaum merklich, dagegen um so stärker ist, je weiter das Metall der Zwischenplatten nach dem negativen Ende der galvanischen Spannungsreihe zu liegt, je fähiger es mithin zur Annahme einer Ladung ist.

Wirkungsverstärkung des Stroms durch Combinirung der Plattenpaare zu einer zusammengesetzten Kette (Säule).

Es wurde oben (S. 718.) angegeben, dass die Wirkungsverstärkung durch Combinirung mehrerer einfachen Plattenpaare zu einer Säule auf der Zusammensetzung der partiellen Ströme, welche jedes einzelne Plattenpaar für sich hervorbringen würde, zu einem gemeinsamen, nach derselben Richtung fortlaufenden Strom beruhe, dass man aber nicht im Voraus behaupten könne, die Verstärkung des Stroms werde mit der Anzahl der einzelnen partiellen Ströme in gleichem Verhältniss wachsen, weil möglicherweise der verlängerte Weg, den der Strom jedes einzelnen Plattenpaars durch den Zusatz der anderen Plattenpaare zu durchlaufen erhält, die Wirkung desselben schwächen könnte. In der That werden wir sowohl durch die Theorie als durch die Erfahrung auf das dem ersten Anschein nach sehr paradoxe Resultat geführt, dass eine *durch sich selbst geschlossene Säule keinen stärkern Strom hervorbringt, als ein ein-*

zernes Plattenpaar derselben, dass also eine nach dem Schema des Becherapparats angeordnete Säule (vergl. S. 717.), die wirklich durch sich selbst geschlossen ist, keinen stärkeren Strom hervorbringt, als ein einfaches Plattenpaar derselben. Dieses Resultat ergibt sich als unmittelbare Folge aus dem oben erörterten Grundgesetz, von welchem die Wirksamkeit des Stroms abhängt. Dieses Grundgesetz heisst: *Die Kraft der geschlossenen Kette ist gleich der Summe der elektromotorischen Kräfte dividirt durch die Summe der Leitungswiderstände.* Nun wird aber in einer durch sich selbst geschlossenen Kette die elektromotorische Kraft eines einzelnen Plattenpaars in demselben Verhältniss vervielfacht, wie der Widerstand in diesem Paare, weil der vom Strom jedes einzelnen Plattenpaars und mithin vom Gesamtstrom zu durchlaufende Weg ganz in demselben Verhältniss zunimmt, wie die Zahl der Plattenpaare oder wie die dieser Zahl entsprechend wachsende Summe der elektromotorischen Kräfte; Zähler und Nenner multipliciren sich daher durch die gleiche Zahl, und die Kraft eines einzelnen Plattenpaars ist mithin eben so gross, als die Kraft der ganzen Säule.

Eine Säule wird jedoch nie auf diese Weise, d. h. durch sich selbst geschlossen, angewendet, sondern man schiebt immer irgendwo einen Leiter ein, d. h. man erhöht den Widerstand eines Elements über den Widerstand der andern Elemente, und dann ist auch der Fall ein ganz anderer: mit der Anzahl der Elemente der Säule wird nemlich jetzt der Gesamtleitungswiderstand derselben nicht mehr in gleichem Verhältniss vervielfältigt, und die elektromotorische Kraft wächst dann in einem überwiegenden Verhältniss. Setzen wir z. B. die elektromotorische Kraft eines einfachen Plattenpaars = 1, und den Widerstand, den die Theile eines einfachen Plattenpaares selbst äussern, ebenfalls = 1; nehmen wir ferner an, dass dieses Plattenpaar durch einen Leiter zur Kette geschlossen werde, dessen

Widerstand sich zu dem Widerstand = 1 der Theile des einzelnen Plattenpaars selbst = 100 : 1 verhalte, so wird die Kraft der Kette durch  $\frac{1}{1+100} = \frac{1}{101}$  ausgedrückt werden. Schliesst man nun *mit demselben Leiter* zwei solcher Plattenpaare, so wird sich die Kraft dieser zweipaarigen Kette durch  $\frac{2}{2+100} = \frac{2}{102}$  ausdrücken lassen, weil die elektromotorische Kraft verdoppelt wird, nicht aber der Gesamtwiderstand, sondern blos der = 1 gesetzte Widerstand, den die Theile eines einzelnen Plattenpaares selbst äussern, sich verdoppelt, indem der schliessende Leiter, dessen Widerstand = 100 ist, für das eine Paar und für die zwei Paare der gleiche ist.  $\frac{2}{102}$  ist aber nahe das Doppelte von  $\frac{1}{101}$ . Wäre dagegen der Widerstand des schliessenden Leiters = 0, so würde die Kraft der ersten Kette durch  $\frac{1}{1}$ , die der zweiten durch  $\frac{2}{2}$  ausgedrückt werden können, d. h. beide Kräfte würden einander gleich seyn.

Für die Umstände, von welchen die Wirksamkeit der Säule abhängt, ergeben sich nun folgende allgemeine Regeln, die uns den Schlüssel dazu geben, welche Anordnung man einer Säule zu geben habe, wenn man diese oder jene Wirkung durch sie hervorzubringen beabsichtigt.

1) In durch sich selbst geschlossenen Säulen von gleich beschaffenen Elementen ist die Wirkung von der Zahl der Elemente unabhängig.

2) Wird in eine solche Säule ein Zwischenleiter eingeschoben, so nimmt die Stärke des Stroms mit Vervielfältigung der Plattenpaare zu. Diese Zunahme erfolgt im Allgemeinen in einem geringeren Verhältniss, als die Zahl der Plattenpaare, in merklich gleichem Verhältniss jedoch dann, wenn der Widerstand des Zwischenleiters sehr gross ist. Ueberhaupt, je grösser der Widerstand des eingeschobenen Zwischenleiters ist im Verhältniss zum Widerstande, den

die Elemente der Säule selbst äussern, desto mehr trägt Vervielfältigung der Plattenpaare zur Wirkungsverstärkung bei, denn dann kommt bloß die Zunahme der elektromotorischen Kraft in Betracht, während der vermög der Vervielfältigung der Plattenpaare vermehrte Widerstand gegen den grossen Widerstand des Zwischenleiters bis zu einer gewissen Grenze verschwindet.

3) Bei fortgesetzter Vervielfältigung der Plattenpaare kommt man jedoch jedenfalls auf eine Grenze, über welche hinaus weitere Vervielfältigung nichts Merkliches mehr zur Verstärkung des Stroms beiträgt. Diese Grenze ist dann erreicht, wenn durch die Summirung des Leitungswiderstandes der einzelnen Plattenpaare der Gesamtwiderstand so gross geworden ist, dass der Widerstand des Zwischenleiters nur noch einen verschwindenden Theil davon ausmacht.

Wenn nemlich die elektromotorische Kraft einer einfachen Kette =  $A$ , der Widerstand des Zwischenleiters =  $b$ , der Widerstand der Theile der Kette selbst =  $c$  ist, so ist die Kraft dieser Kette =  $\frac{A}{b+c}$ . Wird nun eine Kette aus  $n$  mal solchen Plattenpaaren durch denselben Zwischenleiter  $b$  geschlossen, so ist die Kraft dieser Kette =  $\frac{nA}{b+nc}$ . So lange nun noch die Grösse von  $nc$  als gegen  $b$  verschwindend betrachtet werden kann, so wird die Kraft einer solchen Kette nahe =  $\frac{nA}{b}$  seyn, mithin nahe in demselben Verhältniss wie die Anzahl der Plattenpaare wachsen; sobald aber einmal die Anzahl der Plattenpaare in dem Maasse vervielfacht ist, dass umgekehrt  $b$  gegen  $nc$  verschwindet, so wird die Kraft der Kette nahe =  $\frac{nA}{nc} = \frac{A}{c}$  werden, und eine weitere Vervielfältigung der Plattenpaare wird keine merkbare Verstärkung mehr hervorbringen können.

4) Da, bei constant bleibender Grösse  $c$ , die Zahl  $n$  um so grösser seyn muss, je grösser die Grösse  $b$  ist, wenn

$b$  gegen  $nc$  verschwinden soll, so wird diese Grenze oder das Maximum der zu erlangenden Wirkung um so später erreicht, d. h. es wird eine um so grössere Anzahl Plattenpaare erfordert werden, je grösser der Widerstand  $b$  des schliessenden Leiters ist; und da auf der andern Seite, bei constant bleibender Grösse  $b$ , die Zahl  $n$  um so grösser seyn muss, je kleiner die Grösse  $c$  ist, wenn  $b$  gegen  $nc$  verschwinden soll, so wird jene Grenze oder das Maximum der zu erlangenden Wirkung wiederum um so später erreicht werden, d. h. es wird eine um so grössere Anzahl von Plattenpaaren erfordert werden, je grösser die erregende Oberfläche der Platten ist und je besser die Leitungsflüssigkeit derselben leitet, denn dann wird die Grösse  $c$  um so kleiner. Fasst man diese beiden Bedingungen zusammen, so erhält man folgende Regel. Die Grenze wird um so später erreicht, je grösser der Widerstand des schliessenden Leiters im Verhältniss zum Widerstand der Elemente der Säule selbst ist; der Widerstand des schliessenden Leiters ist aber um so grösser, je länger und dünner derselbe ist, und der Widerstand der Elemente der Säule ist um so geringer, je grösser die erregende Oberfläche und je besser die Leitungsflüssigkeit derselben ist.

5) Dieses Maximum ist, wie wir gesehen haben,  $\frac{A}{c}$ , oder, was dasselbe ist,  $\frac{nA}{nc}$ ; es ist mithin

a) für einen guten oder schlechten Zwischenleiter  $b$  gleich gross, nur wird es bei letzterem später erreicht, weil  $nc$ , mithin  $n$ , d. h. die Zahl der Plattenpaare um so grösser seyn muss, je grösser  $b$  ist, wenn  $b$  gegen  $nc$  verschwinden soll.

b) Dieses Maximum ist nicht grösser, als die Grösse desjenigen Stroms, den schon ein einzelnes Plattenpaar der Säule, wenn es ohne den Zwischenleiter geschlossen wäre, hervor-

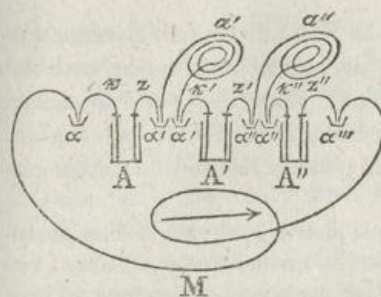


gebracht haben würde; es ist nemlich  $= \frac{A}{c}$ , d. h. gleich der Kraft des Stroms eines solchen einzelnen Plattenpaars.

c) Dieses Maximum selbst ist aber um so grösser, je kleiner  $c$ , d. h. der Leitungswiderstand der Elemente der Säule ist, je grösser also die erregende Oberfläche und je besser leitend die Flüssigkeit ist.

d) Bei gleich guter Leitungsflüssigkeit und erregender Oberfläche würde dieses Maximum auch um so grösser seyn, je grösser  $A$ , d. h. die elektromotorische Kraft der Metalle ist. — Dieses Moment kommt jedoch insofern nicht leicht in Betracht, als eine grössere elektromotorische Kraft zweier Metalle keine Wirkungsverstärkung hervorbringen kann, wenn es nicht auch für diese Metalle eine sehr gute Leitungsflüssigkeit gibt; Zink und Platin z. B. werden, ungeachtet sie in der galvanischen Spannungsreihe weiter von einander entfernt sind, als Zink und Kupfer, dennoch bei weitem keinen so kräftigen Strom hervorbringen können als Zink und Kupfer, weil es für die Combination Zink und Platin keine so gute Leitungsflüssigkeit gibt, als für eine Combination von Zink und Kupfer, mithin bei einer Zinkkupfer-Säule zwar  $A$  grösser ist als bei einer Zinkplatin-säule, bei ersterer dagegen auch  $c$  in einem viel grösseren Verhältniss grösser ist als bei letzterer.

Das unter n<sup>o</sup>. 1 angeführte Ergebniss ist, ungeachtet es aus der sehr einfachen Theorie als unmittelbare Folge sich ergibt, doch so auffallend, dass ich es nicht für überflüssig halte, zu zeigen, wie sich dasselbe auch durch die Erfahrung bewähren lässt. Fechner hat sich hierzu folgender Vorrichtung bedient:



In die Seitenfugen der drei Zellen A, A', A'' sind die Plattenpaare Zinkkupfer, kz, k'z', k''z'' eingesetzt, von welchen aus Drähte in die kleinen Gefässe voll Quecksilber,  $\alpha$ ,  $\alpha'$ ,  $\alpha''$ ,  $\alpha'''$ ,  $\alpha''''$  übergehen. Die äussersten dieser

Gefässe sind durch den Multiplikator M, und die mittleren  $\alpha'a'$ , so wie  $\alpha''a''$ , durch überspannene, dem Multiplikatordraht an Länge, Dicke und Materie genau gleiche Drähte verbunden. Das Ganze stellt mithin eine geschlossene Säule von 3 Elementen dar, deren eines aus der Kupferplatte k und der Zinkplatte z'' besteht, welche durch den Multiplikatordraht, die beiden Gefässe  $\alpha$ ,  $\alpha''$  und die beiden Drähte  $\alpha k$ ,  $\alpha''z''$  in metallischer Verbindung stehen, während die andern Elemente k'z, und k''z' sind, bei denen der Draht k'a', das Gefäss  $\alpha'$ , der Draht  $\alpha'$ , das zweite Gefäss  $\alpha'$  und der Draht  $\alpha'z'$ , so wie der Draht k''a'', das Gefäss  $\alpha''$ , der Draht  $\alpha''$ , das zweite Gefäss  $\alpha''$  und der Draht  $\alpha''z''$ , dasselbe leisten, was bei dem ersten Element der Draht k $\alpha$ , das Gefäss  $\alpha$ , der Multiplikatordraht M, das Gefäss  $\alpha''$  und der Draht  $\alpha''z''$  leistet. Wenn daher nicht blos die Drähte M,  $\alpha'$ ,  $\alpha''$ , sondern auch die Drähte  $\alpha k$ ,  $\alpha'z'$ ,  $\alpha''k''$ ,  $\alpha''z''$ ,  $\alpha''k''$ ,  $\alpha''z''$  so wie die mit Quecksilber gefüllten Gefässe ganz gleich beschaffen sind, wie es hier wirklich der Fall ist, so stellt dieser Apparat eine durch sich selbst geschlossene Kette dar, in welcher alle drei Elemente einander vollkommen gleich und kein Zwischenleiter vorhanden ist, welcher einen andern Widerstand als denjenigen, den die Summe der Elemente mit sich bringt, in die Kette brächte, denn die Verbindungsdrähte können, weil sie allen Elementen gemeinschaftlich sind, als Theile dieser Elemente betrachtet werden.

Misst man nun zuerst die Kraft dieses mit Brunnenwasser gefüllten Apparats mit der Nadel unmittelbar nach der Schliessung, hierauf die Kraft eines einzigen Plattenpaares desselben, so erhält man für gleiche Zeiten ganz genau dieselben Schwingungszahlen; beide Kräfte sind mithin einander gleich.

Dieser letztere Versuch lässt sich auf folgende Weise anstellen. Man zieht die Kupferplatte *k* aus der Zelle *A* heraus, und lässt sie ganz kurze Zeit der Luft ausgesetzt. Man entfernt hierauf die Zellen *A* und *A'*, zieht auch die Kupferplatte *k''* aus der Zelle *A''* heraus, und bringt nun dafür die Kupferplatte *k* in die Zelle *A'*. So erhält man dann ein einfaches Plattenpaar, dessen Platten *k*, *z''* durch die gleiche Drahtlänge, wie vorhin bei einem einfachen Plattenpaar des aus drei Plattenpaaren zusammengesetzten Apparats, nemlich durch *k* *z* *z''* und wiederum wie vorhin durch zwei mit Quecksilber gefüllte Gefässe metallisch verbunden sind. Die Erfahrung zeigt aber, dass wenn man, bei Versuchen in Brunnenwasser, gleich nach den 4 oder 8 ersten Oscillationen der Nadel, die Kette wieder öffnet, und die Kupferplatte aus der Flüssigkeit herauszieht, um sie ungefähr eine noch einmal so lange Zeit in Berührung mit der Luft zu lassen, als die Kette geschlossen war, bei nachheriger Wiederschliessung die Kraft öftere Wiederholungen hindurch völlig die ursprüngliche bleibt, indem durch die Berührung mit der Luft die schwächende Wirkung der Ladung wieder aufgehoben wird. In der That findet man, dass die Wirkung des einzelnen Paares auf die Nadel der Wirkung der aus drei Paaren bestehenden Kette gleich ist.

Auch die übrigen unter den weitem Nummern angeführten Ergebnisse lassen sich leicht durch die Erfahrung bewähren, sie folgen aber so unmittelbar aus dem Ergebniss n<sup>o</sup>. 1, dass ich die Erörterung ihrer experimentellen Bewährung übergehen zu können glaube.

Das Räthselhafte, was diese Ergebnisse auf den ersten Blick zu haben scheinen, klärt sich nun durch diese von der Theorie angedeutete und durch die Erfahrung erwiesene

Thatsache, dass die Wirkung einer durch sich selbst geschlossenen zusammengesetzten Kette der Wirkung eines einzelnen Paares derselben gleich ist, vollkommen auf.

Aus dieser Thatsache nemlich ergeben sich alle vorhin angeführten Wirkungsgesetze der Säule als unmittelbare Folgerungen. Die wichtigste Folgerung, die wir an die Spitze stellen wollen, ist die: *dass die Kraft einer geschlossenen einfachen Kette an sich durch die Vervielfältigung der Plattenpaare nie vermehrt werden kann, weil  $\frac{A}{c} = \text{ist } \frac{nA}{nc}$ , wenn A die elektromotorische Kraft eines einzelnen Plattenpaares, c den Widerstand der Theile dieses Plattenpaares bezeichnet.* Würde man in eine solche einfache Kette einen weiteren Widerstand (Draht, Flüssigkeit) einbringen, so würde dadurch ihre Kraft geschwächt werden, und würde man diese einfache Kette in eine Kette von mehreren Plattenpaaren verwandeln, *aber jedes hinzugefügte Plattenpaar mit demselben Widerstand versehen*, und so eine durch sich selbst geschlossene *vielplattige* Kette bilden, so würde nichts gewonnen werden: die Wirkung einer solchen Kette würde gleich seyn der einer einfachen, aus einem einzelnen solchen Plattenpaar bestehenden und mit demselben Widerstand versehenen Kette, mithin ebenfalls geringer seyn, als die Wirkung einer einfachen Kette, in welche kein solcher weiterer Widerstand eingebracht ist. Wenn man dagegen die Anzahl der Plattenpaare vermehrt, *ohne die neuen Paare mit dem weiteren Widerstand zu versehen, den man dem einzelnen Plattenpaar zugefügt hat*, so wird die Kraft einer solchen zusammengesetzten Kette grösser seyn, als die Kraft dieses einzelnen Plattenpaares, und wird so lange mit der Vervielfältigung der Plattenpaare vermehrt werden, bis sie der Kraft des einzelnen, mit dem neuen Widerstand nicht versehenen Plattenpaares, welcher sie nie *vollkommen* gleich werden kann, sondern sich nur, als

einer nie erreichbaren Grenze, mit Vervielfältigung der Paare immer mehr nähert, *nahe* gleich wird.

In obiger Bezeichnung ist die Kraft einer solchen einfachen Kette  $\frac{A}{c}$ , die Kraft der mit dem neuen Widerstand versehenen Kette  $\frac{A}{b+c}$ , die Kraft einer mehrplattigen Kette  $\frac{nA}{b+nc}$ . Diese letztere Kraft wird *dann* nahe  $= \frac{A}{c}$  seyn, wenn  $n$  so gross genommen wird, dass  $b$  gegen  $nc$  verschwindet. Die Vervielfältigung der Plattenpaare trägt also *blos* insofern zur Verstärkung des Stroms bei, als sie die schwächende Wirkung des neuen in die Kette gebrachten Widerstandes gegen den ursprünglichen mit der Vervielfältigung der Paare vervielfältigten Widerstand (welcher letztere aber desswegen, weil mit seiner Vervielfältigung auch die elektromotorische Kraft in gleichem Verhältniss vervielfältigt wird, die Kraft der Kette nicht zu schwächen vermag) verschwinden macht. —

Wenn man z. B. kaustisches Kali durch die Einwirkung des Stroms zersetzen will, so würde die Kraft des Stroms einer *einfachen* Kette *an sich* hinreichend seyn, diese Zersetzung zu bewirken, wenn nur der Widerstand in dieser Kette nicht sehr bedeutend, d. h. die erregende Oberfläche der Platten hinreichend gross und die Flüssigkeit eine gut leitende seyn, d. h. wenn die Kraft der einfachen Kette *an sich* hinreichend gross seyn würde. Eine solche Zersetzung kann jedoch nicht erfolgen, wenn nicht das Kali selbst in den Kreis der geschlossenen Kette gebracht wird: dadurch wird aber die Kraft des Stroms so ausserordentlich geschwächt, dass die Kraft auch einer *an sich* sehr wirksamen einfachen Kette unmöglich mehr hinreichen kann, das Kali zu zersetzen. Wird nun aber die Anzahl der Plattenpaare so weit vervielfacht, dass der Widerstand, den das Kali dem Strom leistet, gegen den übrigen Widerstand verschwindet, so wird eine Zersetzung des Kalis erfolgen können, und zwar dann, wenn der ursprüngliche Strom der einfachen

Kette, in deren Kreis das Kali nicht gebracht wird, *an sich*, stark genug wäre, dasselbe zu zersetzen. Würde man nemlich so kleine Elektromotorplatten und eine so schlecht leitende Flüssigkeit zur einfachen Kette anwenden, dass wegen des bedeutenden Widerstandes in derselben der Strom nur eine geringe Kraft bekäme, eine Kraft, die an sich nicht hinreichen würde, das Kali zu zersetzen, so würde auch eine Kette, hervorgebracht durch jede noch so grosse Vervielfachung der gleichen Plattenpaare, bei Anwendung der gleichen Leitungsflüssigkeit, nicht vermögen diese Zersetzung zu bewirken, wenn Kali in den Kreis derselben gebracht würde; denn man kann durch eine solche Vervielfachung bloß einen Strom hervorbringen, dessen Stärke sich der Stärke des Stroms der ursprünglichen einfachen Kette, in welche kein Kali als Zwischenleiter eingebracht ist, als einer nicht einmal je völlig erreichbaren Grenze nähert. Zu kleine Platten und eine zu schlechte Leitungsflüssigkeit werden daher nicht angewendet werden dürfen, wenn die Zersetzung des Kalis durch eine Säule erfolgen soll, denn auch eine noch so grosse Vervielfachung der Paare würde dann nicht zum Ziele führen.

Die erschütternde Wirkung einer Säule, welche dann erhalten wird, wenn man die beiden Pole derselben mit feuchten Fingern berührt, mithin den ganzen Körper, der einen ungeheuren Widerstand leistet, in die Kette bringt, nimmt ebenfalls, wie die Erfahrung zeigt, zu, wenn die selbst schon sehr weit getriebene Vervielfachung der Paare *noch weiter* getrieben wird, und eine einfache Kette, auch von der grössten erregenden Oberfläche und mit der besten Leitungsflüssigkeit, kann nie eine Erschütterung hervorbringen, weil ihre Kraft durch die Einbringung des menschlichen Körpers als Zwischenleiters in dieselbe so ausserordentlich geschwächt wird, dass sie beinahe = 0 wird.

Wird dagegen in die Kette als Zwischenleiter ein Körper eingebracht, der einen sehr geringen Widerstand leistet, so wird eine Vervielfachung der Plattenpaare nicht viel zur Vermehrung ihrer Stärke beitragen können, weil der Widerstand dieses Körpers schon gegen den Widerstand in der Flüssigkeit einer einfachen Kette beinahe verschwindet. Daher findet man auch, dass bei Anwendung eines nicht gar zu langen Multipli-

cators als Schliessungsdraht, die Wirkung auf die Magnetonadel mit der Vervielfachung der Paare nicht merkbar zunimmt, und dass jedenfalls das Maximum bald erreicht ist, weil der Multiplicatordraht als ein guter Leiter keinen bedeutenden Widerstand in die Kette bringt. Ebenso findet man, dass bei den Glühungsversuchen, zu denen man die Kette anwendet, und wobei in der Regel ein zwar ziemlich dünner, doch nicht sehr langer Draht, immerhin also ein Körper, der verhältnissmässig einen geringen Widerstand äussert, in dieselbe gebracht wird, die Wirkung mit Vervielfältigung der Plattenpaare nicht merkbar zunimmt, dagegen Alles darauf ankommt, eine grosse erregende Oberfläche und eine gut leitende Flüssigkeit anzuwenden, um die Wirkung des einzelnen Plattenpaars, die an sich durch Vervielfältigung der Paare nie verstärkt werden kann, und die andererseits durch den eingebrachten Draht nicht merkbar geschwächt wird, möglichst zu verstärken.

Hier verdienen nun auch die interessanten Versuche erwähnt zu werden, welche den Beweis liefern, dass sich die galvanische El. auf sehr grosse Weiten in fast ungeschwächtem Zustande fortpflanzen lässt, und zwar selbst dann, wenn der Schliessungsdraht durch weite Flüssigkeitsstrecken unterbrochen ist. Solche Versuche lassen sich mit Bequemlichkeit bei einem zugefrorenen Flusse anstellen. Man errichtet auf demselben eine vielplattige Säule, bohrt neben ihr durch das Eis ein Loch durch, und lässt nun von dem einen Pol einen Draht durch das Loch in das Wasser herunterhängen, während man in den andern Pol einen sehr langen Draht befestigt, der oberhalb der Oberfläche des Eises, ohne dasselbe zu berühren, hinläuft. Hält man jetzt das von der Säule abgewendete Ende dieses Drahts mit der einen Hand, während man mit der andern das Wasser in dem auch an dieser Stelle gebohrten Loch berührt, so empfindet man eine fast eben so starke Erschütterung, als wenn man die Pole unmittelbar durch gleichzeitige Berührung mit beiden Händen entladen hätte. — Verbindet man den langen Draht mit dem Pol der Säule durch einen Wasserzersetzungsapparat,

so findet, so lange das Ende desselben mit dem Wasser nicht in leitende Verbindung gesetzt ist, keine Wasserzer-  
setzung statt, welche aber augenblicklich eintritt, sobald  
man von demselben einen Draht durch das in das Eis ge-  
bohrte Loch in das Wasser herunter führt, während nemlich  
von dem andern Pol aus ebenfalls ein Draht durch das Eis  
hindurch in das Wasser des Flusses geleitet ist.

Man hat diese Wirkungen wahrgenommen, wenn der  
lange Draht 4000 Fuss lang war; die Schliessung der Kette  
ward also durch eine ungeheure Wassermasse bewirkt, und  
sie ist so *vollkommen*, dass sich keine elektroskopische Er-  
scheinungen, die immer ein Zeichen eines in die geschlosse-  
ne Kette gebrachten *merklichen* Widerstandes sind, an den  
Polen wahrnehmen lassen, während solche bei viel kürzeren  
Strecken von Flüssigkeit, *sobald diese in Röhren eingeschlos-  
sen ist*, immer zum Vorschein kommen. Die gleichen Er-  
folge wurden sogar erhalten, wenn man auf einem feuchten  
Wiesenland eine Säule errichtete, von dem einen Pol der-  
selben einen Draht auf die Wiese heruntergehen liess, den  
an dem andern befestigten langen Draht über dieselbe hinführte,  
und das andere Ende desselben in die eine Hand nahm, wäh-  
rend man mit der andern die feuchte Wiese berührte. So zeig-  
ten sich die Wirkungen, wenn die Säule durch eine 2000  
Fuss lange Strecke feuchten Wiesenlands geschlossen wurde.

Diese Thatsachen scheinen auf den ersten Blick mit unsern  
bisherigen Erfahrungen im Widerspruch zu stehen, insofern  
Wassermassen von grosser Länge den Strom ausserordentlich  
schwächen müssen, und insofern zur Hervorbringung dieser  
Wirkungen nicht einmal Säulen von *sehr vielen* Plattenpaa-  
ren erfordert werden, und man also nicht zu der Annahme  
berechtigt ist, der grosse in die Kette gebrachte Widerstand  
werde durch die Anzahl der Plattenpaare compensirt. Es  
kommt aber in Betracht, dass die freie und zu beiden Sei-  
ten in den feuchten Erdboden sich fortsetzende Wassermasse



des Flusses als ein Leiter von *unbegrenzter Dicke* angesehen werden kann, der eben durch diese Dicke den Leitungswiderstand seiner Länge compensirt und merklich zum Verschwinden bringt. Eine ohne alle Vergleichung kürzere, aber in einer gläsernen Röhre eingeschlossene Wassermasse würde, wenn man sie in den Kreis einer solchen Säule brächte, die Wirkung derselben gänzlich aufheben.

---

Von der allmäligen Abnahme der Kraft in der geschlossenen Kette und der Wiederherstellung dieser Kraft.

Die Erfahrung lehrt, dass bei allen geschlossenen hydroelektrischen (mit feuchten Zwischenleitern errichteten) Ketten die Kraft in der ersten Zeit nach der Schliessung am stärksten ist, und von da an abnimmt, dass sie aber durch eine längere Wiederöffnung wieder auf den ersten oder doch einen dem ersten nahen Grad der Kraft zurückgeführt werden kann. Diese und ähnliche, auf Zunahme oder Abnahme der Kraft einer geschlossenen Kette sich beziehende Thatsachen hat man mit dem Ausdruck: *Wogen der Kraft in der Kette* bezeichnet.

Man kann sich von diesem Wogen mittelst aller verschiedenen Wirkungsarten der geschlossenen Kette überzeugen; die Methode der Oscillationen gibt jedoch über den Gang dieses Wogens vom ersten Augenblick der Schliessung an bis zu den spätesten Perioden der Wirksamkeit die genauesten Aufschlüsse.

Dass die Ursache der Erscheinungen des Wogens von einem durch den Strom bedingten Wechselverhältniss der *Flüssigkeit* und der Metalle in der Kette abhängt, lässt sich mit Sicherheit daraus schliessen, dass in der thermoelektrischen Kette, die blos aus Metallen zusammengesetzt ist, keine Spur dieses Wogens sich zeigt, indem eine solche Kette vom An-

fange bis zu Ende der Schliessung auf einem ganz gleichförmigen Zustand der Wirksamkeit beharrt, wenn nur die Temperaturdifferenz der Berührungsstellen der heterogenen Metalle, aus welchen sie besteht, von welcher Differenz ihre Wirksamkeit abhängt, die nemliche bleibt. Welche Veränderung aber entweder der Metallplatten, oder der Flüssigkeit, oder beider zugleich, die Erscheinungen des Wogens in der hydroelektrischen Kette hervorbringe, ist bis jetzt noch im Dunklen.

Diejenigen, welche die Entstehung der Strömung in der Kette von einer chemischen Action, nemlich von der chemischen Einwirkung der Flüssigkeit auf die Metalle abhängig machen, nehmen an 1) dass das Maximum der Wirksamkeit einer Kette erst eine gewisse Zeit nach der Schliessung eintreten könne, weil die Flüssigkeit eine gewisse Zeit brauche, um ihren Angriff auf das Metall gehörig ausüben zu können. In der That sollte man dieses auch erwarten, wenn die erwähnte Ansicht die richtige wäre. Die Erfahrung lehrt aber gerade das Gegentheil, indem ohne alle Ausnahme die Kraft des Stroms *im ersten Augenblick* der Schliessung die allerstärkste ist, und *sogleich* abzunehmen anfängt. 2) Nehmen sie an, dass die Abnahme der Wirkung hauptsächlich von Veränderungen in der Beschaffenheit des flüssigen Leiters, bedingt durch seine chemische Einwirkung auf die Erregerplatten, herrühre. — Wenn nun aber auf der einen Seite zwar nicht in Abrede gestellt werden kann, dass diese und andere Umstände, wie z. B. das Austrocknen der Tuch- oder Pappscheiben (wenn man keine Tröge anwendet), vielleicht sogar eine eigenthümliche Vertheilung der Bestandtheile unter dem Einfluss der Kette, zur Wirkungsabnahme beitragen können, so lässt sich doch auf der andern Seite leicht zeigen, dass *diesen* Umständen der Hauptantheil an der Wirkungsabnahme nicht beigemessen werden könne.

Schon der Umstand, dass eine geschlossene Kette, de-

ren Kraft bedeutend abgenommen hat, nahe ihre ursprüngliche Kraft wieder erhält, wenn man sie während einer gewissen Zeit geöffnet lässt, und dann wieder schliesst, *ohne dabei die Flüssigkeit zu ändern*, beweist, dass die Ursache der Wirkungsabnahme ihrem Haupttheil nach nicht einer Aenderung in der Beschaffenheit der Flüssigkeit zugeschrieben werden könne. Dasselbe wird dadurch bewiesen, dass die ursprüngliche Kraft einer Kette, die ausserordentlich abgenommen hatte, wieder hergestellt werden kann, wenn man die *negativen* Platten herauszieht und frische einsetzt, dass mithin die Wirkungsabnahme und Wiederherstellung der Wirkung, gerade wie es bei den Erscheinungen der Ladung der Fall ist, immer nur deutlich auf die *negativen* Platten sich bezieht. Diese Wirkungsabnahme kann daher nicht von einer Aenderung der Flüssigkeit, sondern muss von einer Aenderung in der Beschaffenheit der *Platten* abhängen. Diese Aenderung ist von einer sehr merkwürdigen Art. Fechner hat beobachtet, dass wenn man in einem weiten Troge, worinn die Platten in einem grossen Abstand von einander geschlossen sind, die Flüssigkeit in der Mitte, oder nahe an der *positiven* Platte umrührt, und dabei sorgfältig vermeidet, *dass nicht ein Anwogen der Flüssigkeit gegen die negative Platte statt finde*, die Kraft ganz unverändert bleibt, d. h. keine Zunahme der geschwächten Kraft erfolgt, dass man sogar die Zinkplatten, unter dieser Vorsicht, in der Flüssigkeit bewegen, selbst zum Theil aus ihr herausziehen kann, ohne dass eine Schwankung in der Kraft der Kette beobachtet wird, dass dagegen eine solche Schwankung sogleich eintritt, und eine Verstärkung der durch die längere Zeit angedauerte Schliessung geschwächten Kraft der Kette erfolgt, wenn man die Flüssigkeit gegen die *negativen* Platten anwogen lässt, oder sie selbst in der Flüssigkeit bewegt, oder sie sogar in der Flüssigkeit nur mit einem Federbart abwischt, so dass es scheint, als wäre die an der Kupferplatte vorgegangene  
 Modi-

Modification, welche, worinn sie nun auch immer bestehen mag, als die Ursache der Schwächung der Kraft der Kette zu betrachten ist, durch diese mechanische Einwirkung abgespühlt worden.

Dass die Ladung zur Wirkungsabnahme der Kette beitragen müsse, ist klar, denn sie vermindert die elektromotorische Differenz, vermindert mithin die elektromotorische Kraft; dass sie aber nicht die Hauptursache der Wirkungsabnahme der Kette seyn könne, ergibt sich daraus, dass sie, zumal bei kräftigen Ketten, in *wenigen Minuten* schon ihr Maximum erreicht, während die Wirkungsabnahme einer solchen Säule *viel länger* fortdauert.

Möglich bleibt es immerhin, dass, da die Wirkungsabnahme jedenfalls von einer Aenderung der Metallplatten und zwar der negativen abhängt, diese Aenderung eine chemische ist, aber sie würde dann nur eine *von dem Strom abhängige* chemische Wirkung seyn können. Man beobachtet nemlich in allen Flüssigkeiten, in welchen die geschlossene Kette überhaupt Wirksamkeit erhält, auch die Wirkungsabnahme derselben; aber in den Flüssigkeiten wenigstens, welche keine sehr stark eingreifende Wirksamkeit äussern, ist es für die Erstwirkung gleichgültig, ob man die Platten längere oder kürzere Zeit vor der Schliessung der Kette darin lässt; hier muss zwar eine chemische Einwirkung statt finden, sie findet jedoch nicht unter dem Einfluss eines Stroms statt und bringt daher keine Wirkungsabnahme hervor. In Uebereinstimmung hiermit fand ferner *F e c h n e r*, dass wenn man zwei ganz gleiche Plattenpaare zur Kette zwar schliesst, aber so, dass ihre Ströme entgegengesetzt gerichtet sind, mithin sich compensiren, gleichfalls keine Wirkungsabnahme statt findet, sondern dass jedes Plattenpaar, wenn es nachher für sich geschlossen wird, denselben Verlauf der Wirkung macht, als wenn es gar nicht, gemeinschaftlich mit dem andern, geschlossen worden wäre. —

Einen interessanten Versuch führt noch Fechner an, aus welchem ersichtlich ist, dass an der Oberfläche der negativen Platten allerdings eine chemische Aenderung unter dem Einfluss des Stroms vor sich geht, welche die Wirkung schwächt, dass aber diese Aenderung sofort wieder verschwindet, wenn man die Platten dem Einfluss des Stroms entzieht; und dass nachher, wenn man sie von Neuem in den Strom bringt, eine Wirkungsvermehrung wieder erfolgt.

In einem weiten, mit salzsaurem Wasser gefüllten Troge werden mehrere Zinkplatten mehreren Kupferplatten gegenüber gestellt. Von sämtlichen Kupferplatten werden Drähte in ein gemeinschaftliches, mit Quecksilber gefülltes Gefäss, und ebenso in ein anderes Drähte von sämtlichen Zinkplatten geleitet. Man erhält auf diese Weise eine einfache Kette, indem alle Kupferplatten und alle Zinkplatten zu Einer Platte verbunden sind. Man schliesst nun diese Kette durch einen Multiplikator, dessen beide Enddrähte in die Quecksilbergefässe geleitet werden, und lässt die Kette einen Tag lang geschlossen. Man sieht die Kupferplatten unter fortgehender Wirkungsabnahme allmählig sich *schwärzen*. Lässt man nun aber eine oder einige Kupferplatten aus der Kette weg, indem man sie zwar in der Flüssigkeit lässt, aber die mit ihnen verbundenen Drähte aus dem gemeinschaftlichen Quecksilbergefässe herauszieht, so sieht man die Schwärzung an diesen Platten allmählig verschwinden, indem nun das saure Wasser die Bestandtheile, die sich unter dem Einfluss des Stroms auf den Platten abgesetzt hatten, auflöst; sie stehen mit rein rother Farbe unter den übrigen geschwärzt bleibenden Platten da, und schliesst man sie jetzt wieder zu den übrigen Platten hinzu, indem man die mit ihnen verbundenen Drähte wieder in das gemeinschaftliche, mit Quecksilber gefüllte Gefäss taucht, so findet man, dass die Wirkung der Kette auf einen viel stärkeren, jedoch sofort wieder abnehmenden Grad steigt, als

der war, bei welchem man die Platten aus der Kette weggelassen hatte.

Nach allen bisher angeführten Thatsachen lässt sich demnach mit Wahrscheinlichkeit annehmen, dass die Schwächung des Stroms einer geschlossenen Kette *hauptsächlich* von einer unter dem Einfluss des Stroms hervorgebrachten Aenderung an der Oberfläche der negativen Platten und einer hierdurch bedingten Vermehrung des Widerstands des Uebergangs abhängt, dass aber ausserdem noch andere Umstände, namentlich die Ladung, welche die elektromotorische Kraft vermindert, ferner Aenderung in der Beschaffenheit der *Leitungsflüssigkeit*, Austrocknen der Pappscheiben u. s. f. einigen Einfluss auf diese Schwächung ausüben.

Ob die Wirkungsabnahme einer Kette ins *Unbestimmte* fortgehe, oder ob zuletzt ein *constanter* Zustand erreicht werde, ist bis jetzt nicht mit Sicherheit entschieden. Man bemerkt allerdings, fast Tage lang hindurch, einen solchen merklich constanten Zustand, aber immer nur dann, wenn die Kraft der Kette um ein grosses Vielfache ihrer ursprünglichen Kraft schon abgenommen hatte, und nachdem die vorhergehenden Differenzen der Abnahme immer kleiner für gleiche Zeiten geworden waren, so dass es sich denken liesse, die nachfolgenden Differenzen seyen nur zu klein gewesen, um beobachtet werden zu können. Die Sache ist um so schwieriger zu entscheiden, als, wenn einmal ein solcher merklich constanter Zustand eingetreten ist, öfters kleine Schwankungen in der Kraft der Kette eintreten, vermöge deren sie bald ein wenig sinkt, bald ein wenig steigt, Schwankungen, die von äusseren, veränderlichen und nicht näher bekannten Einflüssen abzuhängen scheinen.

### Verschiedene Einrichtungen galvanischer Apparate.

Aus dem Bisherigen ergibt sich von selbst, welche Einrichtung die galvanischen Apparate erhalten müssen, je nachdem man diese oder jene Wirkung durch dieselben beabsichtigt; dass namentlich im Allgemeinen *grossplattige* Apparate zweckmässiger sind da, wo eine Wirkung auf *gute* Zwischenleiter, dagegen *vielplattige* da, wo eine Wirkung auf *schlechte* Zwischenleiter erfolgen soll.

Die äussere Einrichtung ist eine zweifache: 1) *Säulenapparate*, 2) *Trogapparate*.

Die *Säulenapparate* sind diejenigen, deren man sich zur Hervorbringung der chemischen und physiologischen Wirkungen häufiger als der Trogapparate bedient, weil für diese Zwecke eine grosse Anzahl von Plattenpaaren erfordert wird, und die Trogapparate daher einen sehr grossen Raum einnehmen würden. Von der Einrichtung der Säulenapparate war schon oben (S. 703. ff.) ausführlich die Rede, und ich beschränke mich hier nur auf wenige nachträgliche Bemerkungen. — Zink und Kupfer werden jetzt fast immer angewendet; früher hatte man statt des Kupfers, Silber gebraucht. Man wendet die Platten von der Grösse eines Species Thalers oder grösser an; eine Zinkplatte wird jedesmal, um das Aufbauen der Säule zu erleichtern und das Eindringen der Flüssigkeit zwischen den Metallplatten zu verhüten, mit einer Kupferplatte zusammengelöthet. Immer wendet man eine gute Leitungsflüssigkeit an: entweder eine Auflösung von Kochsalz in Essig, oder von Salmiak in Wasser, oder endlich eine verdünnte Säure. Die Flüssigkeit, auch wohl die Platten selbst, werden erwärmt, und die Tuch- oder Papp-Scheiben mit der Flüssigkeit gut durchtränkt und dann so weit ausgedrückt, dass der Druck der obern Scheiben auf die unteren keine Flüssigkeit aus ihnen zum Ausfliessen und Herabfliessen bringe. Aus diesem

Grunde schichtet man auch die Säule, wie schon oben bemerkt wurde, nicht zu einer einzigen Säule auf, sondern vertheilt sie in mehrere, wobei man auf eine Isolirung nicht Rücksicht zu nehmen hat, insofern die Säule als eine *geschlossene* angewendet wird. — Wenn die Versuche mit der Säule beendigt sind oder ihre Wirksamkeit aufgehört hat, so nimmt man sie auseinander und reinigt die Metallplatten von der Oxydhaut und andern chemischen Ansätzen, die sich auf ihrer Oberfläche gebildet haben, mittelst eines in nassen Sand getauchten Lappens.

Zu den *Trogapparaten* werden Porzellan-Tröge angewandt, die durch porzellanene Querwände in eine gewisse (z. B. 10) Anzahl von Abtheilungen getheilt sind. Häufiger bedient man sich jetzt gläserner cylindrischer Gefäße von dickem Glas. Die Tröge oder die Gefäße werden so weit mit der Leitungsflüssigkeit gefüllt, dass diese, wenn die Metallplatten hineingestellt werden, nicht überläuft. Sämmtliche Platten sind an ein Stück trockenes und gefirnisstes Holz befestigt, so dass man alle Plattenpaare auf einmal in die Flüssigkeit hineinbringen und aus derselben herausheben kann. Die Platten sind nach dem Schema der Säule angeordnet, nemlich so, dass wenn in der ersten Zelle oder dem ersten Glas eine Zinkplatte sich befindet, die ihr zugehörige, und mit ihr durch einen Metallstreifen verbundene Kupferplatte, in der zweiten Zelle steht. In dieser zweiten Zelle folgt dann wieder eine Zinkplatte auf die Kupferplatte, welche aber mit dieser Kupferplatte *nur durch die Flüssigkeit* in leitender Verbindung steht, dagegen mit der Kupferplatte der dritten Zelle metallisch verbunden ist u. s. f. So erhält man, indem die zwei Platten eines jeden einzelnen Elektromotors immer in zwei verschiedenen, an einander angrenzenden Zellen oder Gläsern sich befinden, das Schema der Säule: Zink, Kupfer, Flüssigkeit; Zink, Kupfer, Flüssigkeit. Brächte man die beiden Platten der einzelnen Elektromotore in eine und dieselbe Zelle



ein, so würden die Wirkungen der Säule nicht erhalten werden, denn jeder Elektromotor würde von dem an ihn grenzenden durch einen Nichtleiter, nemlich die porzellanene Zwischenwand oder das Glas getrennt.

Es wurde schon oben (S. 779.) bemerkt, dass durch Vergrößerung der negativen Fläche gegen die positive die Wirkung bedeutend verstärkt wird. Bei Glühungsversuchen wendet man gewöhnlich ein einzelnes Elektromotorpaar, bestehend aus einer doppelten Kupferplatte und einer einfachen Zinkplatte, an. Um die Zinkplatte wird die Kupferplatte herumgeschlagen, so dass beide einander nirgends berühren, was man z. B. dadurch bewirkt, dass beide durch Wülste von Harz auseinandergehalten werden. An der Zink- und Kupferplatte sind Drähte befestigt, deren Enden durch einen dünnen Platindraht mit einander in Verbindung gesetzt werden.

Taucht man den Apparat in eine stark leitende Flüssigkeit, z. B. eine Mischung von 1 Theil Schwefelsäure, 1 Theil Salpetersäure und 50—60 Theilen Wasser (alles dem Volumen nach genommen), so kommt der Platindraht (der natürlich ausserhalb der Flüssigkeit sich befindet) ins Glühen. Es versteht sich, dass, bei gleich bleibender Leitungsflüssigkeit, die Platten des Apparats um so grösser seyn müssen, je dicker und länger der Draht ist, der ins Glühen gebracht werden soll. Wollaston hat mittelst seines *Fingerhutapparats*, der einen solchen, so eben beschriebenen einfachen Elektromotor vorstellt und aus einem silbernen Fingerhut mit entsprechender Zinkplatte besteht, einen Platindraht ins Glühen gebracht, der dann freilich auch in entsprechendem Grade dünn seyn musste: ein solcher Draht hat ungefähr  $\frac{1}{1200}$  Millimeter im Durchmesser. — Eine solche ausserordentliche Feinheit der Platindrähte kann durch die gewöhnlichen Mittel nicht erhalten werden; Wollaston bedient sich hierzu folgenden Verfahrens. Er befestigt einen dicken

Platindraht in die Axe einer hohlen cylindrischen Form, und füllt diese vollends mit Silber aus, das geschmolzen um den Platindraht herum gegossen wird und an ihm erstarrt. Das Ganze wird nun durch einen Drahtzug gezogen, und so ein sehr dünner Silberdraht mit dem ausserordentlich dünnen Platindraht in der Mitte, erhalten. Durch heisse Salpetersäure wird das Silber aufgelöst: der Platindraht bleibt unversehrt zurück, weil Platin von Salpetersäure nicht angegriffen wird.

Die sogenannten *Calorimotoren* oder *Deflagratoren* sind nichts Anderes, als Wollastonsche Fingerhutapparate nach einem ungeheuren Maasstab, von welchen mehrere in Trögen, entweder nach dem Princip der Säule, oder so mit einander combinirt werden, dass sie wie ein einziges Plattenpaar wirken. Ein grosses, spiralförmig zusammengerolltes Zinkblatt wird von beiden Seiten mit einem spiralförmig zusammengerollten Kupferblatte umgeben, von demselben aber durch isolirende Leisten durchaus getrennt erhalten; an dem Zinkblatt und Kupferblatt können kupferne Arme angebracht werden, welche man mit dem ins Glühen zu versetzenden Draht verbindet. Das Ganze stellt mithin einen Cylinder dar: wird dieser in stark gesäuerte Flüssigkeit getaucht, so kommt jener Draht ins Glühen. Taucht man mehrere solcher Cylinder in neben einander stehende, mit saurer Flüssigkeit gefüllte Gefässe, und verbindet das Kupfer des ersten Cylinders mit dem Zink des zweiten Cylinders, das Kupfer des zweiten Cylinders mit dem Zink des dritten u. s. f. durch Metallstreifen, so erhält man einen nach dem Princip der Säule zusammengesetzten Apparat; verbindet man dagegen durch Metallstreifen das Kupferblatt des einen Cylinders mit den Kupferblättern aller übrigen, und ebenso das Zinkblatt des einen mit den Zinkblättern aller übrigen, so erhält man einen Apparat, der wie ein einziges Plattenpaar wirkt.

### Wärmeerscheinungen in der geschlossenen Kette.

Die Wärmeerscheinungen in der geschlossenen Kette sind darin begründet, dass die Ströme entgegengesetzter Elektricitäten, welche die Kette nach entgegengesetzten Richtungen durchlaufen, auf ihrem Wege einander gegenseitig, unter Entwicklung von Wärme oder von Wärme und Licht, ausgleichen und Elektricum bilden. Diese Wirkung erfolgt nach der Erfahrung vorzüglich dann, wenn die Vereinigung der entgegengesetzten Elektricitäten durch weniger vollkommene Leiter hindurch geschieht. Die Kraft, mit welcher ein in die Kette gebrachter Körper, ein Draht z. B., ins Glühen versetzt zu werden strebt, scheint in der That, der Erfahrung zufolge, dem Leitungsvermögen des Körpers umgekehrt proportional zu seyn, und da man auf der andern Seite alle Ursache zu haben scheint anzunehmen, dass sie der Intensität des den Körper durchlaufenden Stroms direct proportional sey, diese Intensität aber grösser ist, wenn der Widerstand geringer ist, den der Körper in die Kette bringt, oder, was dasselbe ist, wenn der Körper ein besserer Leiter ist, so muss in einer Beziehung das schlechte Leitungsvermögen des Körpers einen günstigen, in anderer Beziehung einen ungünstigen Einfluss auf seine Fähigkeit, erhitzt zu werden oder ins Glühen zu kommen, ausüben. Da ferner ein dünnerer Draht schlechter leitet, als ein dickerer, so wird der erstere, bei gleicher Länge und Materie, die Intensität des Stroms mehr schwächen, als der letztere; die Schwächung wird aber nicht bedeutend seyn können, da der Widerstand dieses Drahts überhaupt in Vergleichung mit dem Totalwiderstand in der Regel unbedeutend ist. Dagegen concentrirt sich der Strom genau im Verhältniss der Dünne des Drahts, und aus diesem Grunde wird ein dünnerer Draht leichter ins Glühen kommen, als ein dickerer;

nur der besondere Umstand, dass die Luft dünnen Drähten verhältnissmässig mehr Wärme entzieht als dicken, macht, dass man, namentlich bei sehr guter Leitungsflüssigkeit und sehr grosser erregender Oberfläche, in der That beobachtet, dass der dickere Draht sogar eine stärkere Glühwirkung erfährt, als der dünnere.

Aus der allgemeinen Theorie folgt, dass je dicker, kürzer, und je besser leitend die Drähte sind, welche ins Glühen gebracht werden sollen, um so mehr grossplattige Apparate mit starker Leitungsflüssigkeit anzuwenden sind; je dünner und länger dagegen solche Drähte sind, je schlechter sie leiten, um so mehr vielplattige Apparate von Nutzen seyn werden. Die Drahtlängen von einerlei Metall und Dicke, die durch eine Kette auf denselben Grad des Glühens gebracht werden können, stehen nach der Theorie in demselben Verhältniss als die Anzahl der Plattenpaare, aus denen die Kette zusammengesetzt ist, vorausgesetzt, dass alle Plattenpaare sich unter einander gleich verhalten. Die Kräfte beider Ketten sind nemlich in Beziehung auf die durch sie hervorgebrachten Glühungserscheinungen gleich gross, und wenn  $m$  die Zahl der Plattenpaare einer Kette ist, die den Draht  $\lambda$  zum Glühen bringt, so ist, nach obiger Bezeichnung, die Kraft dieser Kette  $= \frac{mA}{mC + \lambda}$ ; ist ferner  $n$  die Zahl der Plattenpaare, die den Draht  $\lambda'$  zum gleich starken Glühen bringt, so ist die Kraft dieser Kette  $= \frac{nA}{nC + \lambda'}$ . Es ist mithin  $\frac{mA}{mC + \lambda} = \frac{nA}{nC + \lambda'}$ ; daher  $m\lambda' = n\lambda$  und  $m : n = \lambda : \lambda'$ . Dieses Resultat der Theorie hat die Erfahrung bestätigt.

Wie mittelst der geschlossenen Kette Drähte ins Glühen gebracht werden u. s. f., ist schon erwähnt worden; ich füge hier nur noch einige Bemerkungen über die Entstehung der *Funken* bei.

Zur Hervorbringung der *Funkenerscheinungen* kann man sich einer Säule aus 30 oder noch viel weniger Plattenpaaren von 1 Quadratfuss Oberfläche, oder von 100 Plattenpaaren von 3–4 Quadratzoll Oberfläche bedienen; man muss aber dann eine gut leitende Flüssigkeit anwenden, Salmiakauflösung oder Säuren. Man erhält den Funken im Augenblick, in welchem ein mit dem einen Pol in Verbindung gesetzter Leiter den andern Pol berührt, und so die Schliessung der Säule bewirkt. Es ist dabei gleichgültig, ob die Säule von dem positiven nach dem negativen Pol, oder umgekehrt, geschlossen wird. Ein an das Ende des Drahts befestigtes feines Metallblättchen glüht oder verbrennt bei Berührung des Pols. Der Funken zeigt sich am auffallendsten, wenn der Draht fein oder zugespitzt ist. Sehr ausgezeichnet ist die Erscheinung, wenn man mit einem feinen Eisendraht, welcher von dem einen Pol einer starken Säule ausgeht, die Oberfläche einer kleinen Quantität Quecksilber, in welches ein Draht vom andern Pol taucht, berührt. Gut ausgebrannte Lindenkohle wirkt ebenfalls sehr günstig zur Hervorbringung von Funken: man bedeckt entweder den einen Pol mit einer Kohlenscheibe und schliesst vom andern Pol aus mit einem Metalldraht oder Metallblättchen, oder man bringt auch Kohlenspitzen an beiden entgegengesetzten Polardrähten an, um sie dann mit einander in Berührung zu setzen.

Es lassen sich sogar mittelst Kohlenspitzen Funken unter Wasser, Alkohol, Aether, Oelen, concentrirten Säuren erhalten, wenn gleich mit verminderter Stärke; auch lassen sich mittelst des galvanischen Funkens nicht bloß Metalle, sondern auch andere brennbare Körper, wie Phosphor, Schwefel, Aether, Schiesspulver u. s. f. entzünden. — Die Schlagweite des galvanischen Funkens ist übrigens sehr gering.

In dem Draht, welcher die erhitzende Wirkung der Kette erlährt, scheint die Hitze von der Mitte nach den Enden

hin abzunehmen, vielleicht weil die Enden des Drahts, wegen ihrer Berührung mit den metallischen Elementen der Säule ihre Wärme leichter verlieren als die Mitte desselben. Hievon könnte auch der Umstand abhängen, dass die Wärmeerzeugung am Zinkpol stärker erscheint, als am Kupferpol, insofern Kupfer ein viel besserer Wärmeleiter ist als Zink.

Auch *flüssige* Leiter erfahren in dem Kreise einer hinreichend wirksamen Kette eine Erhitzung, die nicht von einer Wärmemittheilung von den erhitzten Drähten aus abgeleitet werden kann, insofern die Wärme der Flüssigkeit in der Mitte zwischen den Drähten sogar stärker ist, als an den Drähten selbst.

Wird die Flüssigkeit durch thierische Blase in mehrere Zellen getheilt, und dann in den Kreis der Kette gebracht, so erhitzt sie sich mehr, als wenn sie ein Continuum bildet. Leitet man einen und denselben Strom das einmal durch eine Flüssigkeit, die in einem Glasrohr von gewisser Weite und Länge enthalten ist, das anderemal durch einen mit derselben Flüssigkeit benetzten Baumwollendocht von gleicher Länge und Dicke mit dem Rohr, so bleibt die Temperatur bei der in dem Rohre enthaltenen Flüssigkeit unverändert, während sie bei der in dem Dochte befindlichen Flüssigkeit beträchtlich steigt. Noch besser bedient man sich zu diesem Versuch statt eines Baumwollendochtes des Stengels einer fetten, etwas saftreichen Pflanze, welcher als ein durch eine Menge kleiner Zellen geschiedener feuchter Leiter anzusehen ist. Bringt man einen solchen in den Kreis der Kette, indem man die an beiden Polen befestigten Platindrähte in die Enden desselben hineinsteckt, so kommt das Wasser des Stengels in der Nähe der eingesteckten Drähte ins Sieden.

---

### Chemische Wirkungen der geschlossenen Kette.

Wenn von den chemischen Wirkungen der geschlossenen Kette die Rede ist, so versteht man darunter gewöhnlich solche Wirkungen, welche *besondere*, flüssige oder befeuchtete Leiter erfahren, die in den Kreis der Kette, zwischen die Pole derselben, eingebracht werden. Aber auch in dem feuchten Leiter zwischen je zwei Elementen der Kette finden ganz analoge Wirkungen statt, und eine zwischen die beiden Pole eingebrachte Flüssigkeit steht zu der geschlossenen Kette als Ganzem in der gleichen Beziehung, wie jeder andere zwischen zwei Plattenpaaren befindliche feuchte Leiter. Die Pole einer *geschlossenen* Säule haben als Pole keine besondere Bedeutung mehr; man kann jede zwei beliebige, durch einen feuchten Leiter getrennte Plattenpaare als die Polarplattenpaare betrachten, und nur der Umstand, dass man zwischen die Pole der Säule in der Regel eine Flüssigkeit einbringt, welche *verschieden* ist von derjenigen, mit welcher man die feuchten Leiter befeuchtet, und dass man die durch die Einwirkung des elektrischen Stroms auf jene Flüssigkeit erfolgende Zersetzung der Flüssigkeit als Zweck, die übrige Säule selbst aber als Mittel zum Zweck betrachtet, macht, dass man leicht die Analogie aus den Augen verlieren könnte, welche zwischen der an den Polen eingebrachten Flüssigkeit und der Flüssigkeit eines jeden feuchten Leiters der Kette in ihren Beziehungen zur ganzen Kette, statt findet.

Die allgemeine Wirkung der geschlossenen Kette ist folgende. Wenn man einen zusammengesetzten Körper in den Kreis derselben bringt, und die metallischen Enden der Kette, zwischen welchen der Körper die Schliessung bewerkstelligt, die Pole der Kette genannt werden, so erfolgt *bei der gewöhnlichen Art, den Versuch anzustellen*, die

Zersetzung, wenn eine solche überhaupt möglich ist, in der Art, dass der eine Bestandtheil des zusammengesetzten Körpers sich nach dem negativen, der andere nach dem positiven Pol hin bewegt, und mit der Substanz des Pols entweder in chemische Verbindung tritt, oder zunächst in der Nähe desselben sich ansammelt, oder endlich sich gasförmig von demselben aus entwickelt.

Wir werden später sehen, dass wenn ohne allen Einfluss einer Kette, zwei Körper sich chemisch verbinden, dieses nach der Ansicht, zufolge welcher die chemische Verwandtschaft nichts anderes ist, als eine elektrische Anziehung zwischen den entgegengesetzt elektrischen Atomen der Körper, dadurch geschieht, dass der eine dieser Körper positiv, der andere negativ elektrisch wird. Unter Voraussetzung der Richtigkeit dieser Ansicht, glaubte man die durch den Einfluss der Kette erfolgende Zersetzung eines zusammengesetzten Körpers auf folgende Weise erklären zu müssen. Die elektrische Anziehung, welche die Bestandtheile des Körpers von den entgegengesetzten Polen der Kette aus erfahren, ist stärker als die elektrische Anziehung, vermöge deren sie unter einander selbst zusammenhalten. Man wird daher denjenigen Bestandtheil, welcher sich zum positiven Pol hin bewegt, für den *elektronegativen*, umgekehrt den, welcher sich zum negativen Pol hin bewegt, für den *elektropositiven* Bestandtheil des zusammengesetzten Körpers erklären müssen, eben weil mit entgegengesetzten Elektricitäten beladene Körper einander anziehen. — Der zusammengesetzte Körper kann dabei entweder in Elemente (Wasser, welches in Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt wird), oder zunächst in Bestandtheile, die selbst noch zusammengesetzt sind (schwefelsaures Kali, welches in Schwefelsäure und Kali zersetzt wird), zersetzt werden.

Die Zersetzung eines zusammengesetzten Körpers glaubte man könne nur dann erfolgen, 1) wenn die Elektricität



der Kette stärker ist, als die Elektricität, welche die Bestandtheile des Körpers zusammenhält, d. h. als die Affinität, durch welche die Bestandtheile des Körpers mit einander verbunden sind, und wenn sie 2) auch noch überdiss stark genug ist, die Cohäsion zu überwinden. Dieses sey der Grund, warum überhaupt eine schwache Elektricität keine Wirkung hervorbringe, warum ferner die Zersetzung nur dann erfolge, wenn der Körper in flüssigem Zustand, wo die Cohäsionskraft kaum mehr in Betracht kommt, sey es nun, dass man ihn in diesen Zustand durch Auflösen in Wasser oder durch die Wärme versetze, in den Kreis der Kette gebracht wird. — Es ist jedoch, wie wir bald sehen werden, sehr wahrscheinlich, dass nicht die grössere Cohäsion eines festen Körpers an sich es ist, was der Zersetzung desselben im Wege steht, sondern dass vielmehr feste Körper desswegen nicht zersetzt werden, weil sie die El. nicht leiten, während sie, in den flüssigen Zustand versetzt, die El. leiten, und dann auch in der Regel zersetzt werden. Als weitere Bedingung der Zersetzung fügt man gewöhnlich die hinzu, dass der zu zersetzende Körper die Strömung der Kette nicht unterbrechen dürfe, mithin ein hinreichendes Leitungsvermögen für den Strom besitzen müsse. Sollte übrigens die Strömung selbst von der chemischen Zersetzbarkeit abhängen, — eine Ansicht, welche später aufgestellt werden wird — so würde diese Bedingung wegfallen, denn dann würde jede Flüssigkeit, die nicht zersetzt werden kann, eben weil sie nicht zersetzt werden kann, als ein Nichtleiter für den Strom auftreten müssen. Sehr auffallend ist es jedoch in dieser Beziehung, dass Substanzen, von denen man eine leichte Zersetzbarkeit erwarten sollte, wie Zinnchlorid, Arsenikchlorür, Operment, Realgar u. s. f. nicht leiten und nicht zersetzt werden, während Quecksilberiodid in starrem Zustand isolirend wirkt, und in flüssigem Zustand zwar leitet, aber nicht zersetzt wird.

Wir betrachten nun die einzelnen Zersetzungen zusammengesetzter Körper.

Die Art, wie man die Zersetzung des Wassers mittelst der Säule bewerkstelligen kann, ist oben S. 77. angeführt worden. Der wichtigste Umstand, der auf diese Zersetzung von Einfluss ist, ist die Entfernung der Spitzen der Leitungs-Drähte von einander, welche in die Flüssigkeit eintauchen. Bei zu grosser Entfernung findet keine Zersetzung mehr statt, wenn die Säule schwach ist; bei hinlänglich starken Säulen kann jedoch die Entfernung der Leitungsdrähte sehr gross werden, ohne dass die Gasentbindung unterbrochen wird. — Auch mittelst der einfachen geschlossenen Kette lässt sich das Wasser zersetzen, und dieser einfache Versuch ist sehr belehrend und interessant. Man stelle einen Zinkstreifen in Salzsäure, die so weit mit Wasser verdünnt ist, dass das Metall nicht angegriffen wird und keine Gasentwicklung erfolgt. Stellt man nun neben den Zinkstreifen einen Silber-Platin- oder Goldstreifen in die Flüssigkeit, so dass der Zinkstreifen und der Streifen des andern Metalls einander nicht berühren, so erfolgt wieder nichts, namentlich keine Gasentwicklung. So wie man jetzt aber die beiden Metalle, sey es innerhalb oder ausserhalb der Flüssigkeit, einander berühren lässt, so wird die lebhafteste Gasentwicklung (Wasserstoffgas) von dem negativen Metall (Silber, Platin, Gold) aus beginnen, während das Zink sich mit dem Sauerstoff des Wassers verbindet, und als Oxyd sich in der Säure auflöst. Mit der Berührung beider heterogener Metalle ist nemlich die Bildung einer einfachen durch verdünnte Salzsäure geschlossenen Kette gegeben.

Man hat sich durch Versuche überzeugt, dass die Zersetzung des Wassers wirklich an beiden Polen der Säule vor sich geht, und dass als Product der Zersetzung nichts als Sauerstoffgas und Wasserstoffgas in dem zur Wasser-

bildung erforderlichen quantitativen Verhältniss erhalten wird. Dieses letztere Resultat erhält man übrigens bloß dann, wenn man bei dem Versuch eine ganz besondere Sorgfalt anwendet, denn alles Wasser, welches mit der Luft in Berührung gestanden hatte, enthält Sauerstoffgas und Stickgas, und diese Gase entwickeln sich zum Theil aus dem Wasser bei der Zersetzung desselben und verunreinigen die gasförmigen Producte der Zersetzung, geben auch ausserdem zur Bildung von Ammoniak und von Salpetersäure Veranlassung.

Ein wichtiger Umstand bei dieser Zersetzung ist der, dass immer nur unmittelbar von den Polardrähten der Säule aus, und zwar so weit sie in die Flüssigkeit tauchen, nie in einiger Entfernung von ihnen, aus der Flüssigkeit selbst, Gasblasen sich erheben. Ist das Metall des positiven Leitungsdrahts ein oxydirbares, so wird gar kein Sauerstoffgas entbunden, indem *aller* Sauerstoff mit dem Metall in Verbindung tritt.

Wenn ein im Wasser gelöstes Salz in den Kreis der Kette gebracht wird, so sammelt sich die Säure um den positiven, die Basis um den negativen Pol an; die Säure ist mithin der elektronegative, die Basis der elektropositive Bestandtheil des Salzes. Dieser Versuch, auf verschiedene Weise modificirt, wie es durch Berzelius und Hisinger, so wie durch Davy und besonders auch durch Faraday geschehen ist, hat zu sehr bemerkenswerthen Resultaten geführt, namentlich zu den sogenannten *überführenden Wirkungen*, welche zeigen, dass Stoffe, die aus einer Verbindung frei gemacht werden, von einem Pol zu dem andern, im Allgemeinen unsichtbar und unerkennbar auf ihrem Wege, hinüber wandern können. Auf solche überführende Wirkungen liess sich übrigens schon aus der Zersetzung des Wassers schliessen, wenn sie gleich hier nicht so augenscheinlich seyn konnten; denn da das Wasser an *beiden* Polen zersetzt wird, und an jedem Pol nur der eine seiner Bestandtheile

zum

zum Vorschein kommt, so musste der andere zum andern Pol hinüber wandern, um erst dort sich in Freiheit zu setzen. Ueberhaupt werden wir sehen, dass eine jede scheinbar noch so einfache Art einer elektrochemischen Zersetzung ganz wesentlich in einer Ueberführung der Bestandtheile von dem einen nach dem andern Ende der zersetzt werdenden Flüssigkeitsstrecke besteht.

Zu solchen Versuchen bedient man sich am bequemsten zweier Gefässe, die man mit den zu zersetzenden Flüssigkeiten füllt, und die man einerseits durch mit destillirtem Wasser befeuchtete Asbest- \*) oder Baumwollenfasern, oder durch heberförmige, an ihren Mündungen capillar ausgezogene, mit Wasser gefüllte Glasröhren, andererseits mit den Polen der Säule durch die eingetauchten Polardrähte in Verbindung setzt. In manchen Fällen stellt man zwischen diese beiden Gefässe noch ein drittes, welches man mit irgend einer Flüssigkeit füllt, und mit den beiden andern, mit den Polardrähten der Säule in Verbindung stehenden, Gefässen durch Asbestfasern u. s. f. verbindet, so dass dann alle diese 3 Gefässe in dem Kreis der Kette sich befinden.

Die allgemeinen Resultate, die man auf diese Weise erhalten hat, sind folgende:

1) Wie man auch die Flüssigkeiten in den Gefässen vertheilen mag, immer wird sich ihr elektronegativer Bestandtheil nach einiger Zeit am positiven, ihr elektropositiver Bestandtheil am negativen Pol der Säule angesammelt finden. — Bringt man z. B. in das positive Gefäss eine Lösung von salzsaurem Kali, in das negative Wasser, so findet man nach einiger Zeit freies Kali im negativen, freie Salzsäure im positiven Gefäss. Selbst wenn die Salzauflösung in dem mittle-

---

\*) Der Asbest (Amianth) ist eine weisse, faserige, sehr weiche und elastisch biegsame Mineralsubstanz, der vermöge ihrer Textur Haarröhrchenwirkung zukommt.

ren Gefäss, destillirtes Wasser aber in den beiden äussersten, mit den Polen in Verbindung stehenden Gefässen sich befindet, die durch Amianth mit dem mittleren Gefäss verbunden sind, und deren Wasser höher steht, als die Salzauflösung des mittleren Gefässes, so findet sich nach einiger Zeit die Säure in dem mit dem positiven, die Basis in dem mit dem negativen Pol in Verbindung stehenden äussersten Gefäss, welche beide Gefässe im Anfang des Versuchs blos destillirtes Wasser enthalten hatten.

2) Die Bestandtheile der Flüssigkeiten gehen ganz rein, (die Säure frei von Basis und umgekehrt) zu den Polen über, nach denen sie hingeführt werden.

3) Die Zeit, welche zum Hinüberführen der Bestandtheile erfordert wird, ist bei übrigens gleichen Umständen um so grösser, durch eine je grössere Strecke von Flüssigkeit die Polardrähte getrennt sind.

4) Die übergeführten sauren und alkalischen Bestandtheile wirken *unterweges* nicht auf reagirende Papiere. — Davy brachte in eine Röhre destillirtes Wasser, in eine andere eine wässrige Lösung von schwefelsaurem Kali; in die erstere Röhre ward der positive, in die letztere der negative Platindraht einer voltaschen Säule getaucht. Zwischen beide Röhren wurde ein kleines, mit destillirtem, durch Lacmus gefärbtem Wasser gefülltes Gefäss gebracht, welches mit jedem der beiden genannten Gefässe durch befeuchteten Amianth in Verbindung gesetzt wurde. Ueber und unter diesen Amianthstreifen, welche das mittlere Gefäss mit den beiden äussersten verbanden, wurde feuchtes Lacmuspapier angebracht. Da die Schwefelsäure des schwefelsauren Kalis von dem mit dem negativen Pol verbundenen Gefässe aus, durch den verbindenden ersten Amianthstreifen und die durch Lacmus gefärbte Flüssigkeit hindurch durch den zweiten Amianthstreifen in das mit destillirtem Wasser gefüllte Gefäss wandern musste, so hätte man erwarten sollen, dass das an dem *ersten* Amianthstreifen angebrachte Lacmuspapier auch *zuerst* hätte gefärbt werden sollen: aber gerade hier trat gar keine Farbenänderung ein, vielmehr wurde das an dem entfernteren, dem positiven Pol am nächsten gelegenen Amianthstreifen angebrachte

blaue Lacmuspapier zuerst roth gefärbt und diese Färbung pflanzte sich von da bis in die Mitte des mit durch Lacmus gefärbtem Wasser gefüllten Zwischengefässes fort. — Wurde umgekehrt in die Lösung des schwefelsauren Kalis der positive, in das destillirte Wasser der negative Polardraht getaucht, das Zwischengefäss mit einer Curcumaauflösung gefüllt, und an den Amianthstreifen mit Curcuma gefärbte Papiere angebracht, so trat die braune Färbung des Curcumas am negativen Pol zuerst ein, und die gegen den positiven Pol zu gelegene Curcumaauflösung des Zwischengefässes, so wie die mit Curcuma gefärbten Papiere, welche an dem, dem positiven Pol am nächsten liegenden, Amianthstreifen angebracht waren, erlitten keine Farbenveränderung, ungeachtet in diesem Fall kaustisches Kali zuerst durch sie hindurch wandern musste.

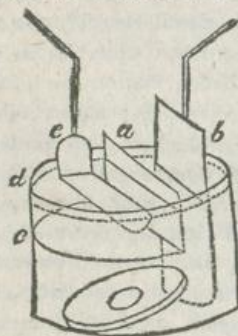
5) Die Ueberführung der Bestandtheile findet auch dann noch statt, wenn sie unterweges einen Stoff treffen, mit dem sie *ausserhalb der Kette* eine *auflöslche* Verbindung geben würden, nicht aber, wenn diese Verbindung *unauflöslch* seyn würde. — Befindet sich z. B. destillirtes Wasser an der negativen, und an der positiven Seite eine Auflösung irgend eines Neutralsalzes, welches Kalk, Natron, Kali, Ammoniak oder Bittererde zur Basis hat, in der Mitte aber verdünnte Schwefelsäure, Salpetersäure oder Salzsäure, so geht das Alkali durch die Säure hindurch nach dem negativen Pol hinüber; die im Wasser unlösliche Bittererde geht ebenso, wie die löslichen Alkalien, über \*). Befand sich dagegen z. B. schwefelsaure Kalilösung an der negativen, destillirtes Wasser an der positiven Seite und gesättigtes Barytwasser in der Mitte, so zeigte sich, bei einer Säule von 150 Lagen, nach 30 Stunden in dem destillirten Wasser noch nicht so viel Säure, dass sie sich hätte wahrnehmen lassen; nach 4 Tagen erschien sie zwar, aber in sehr geringer Menge. In dem Zwischengefäss

\*) Wir werden bald sehen, dass letzteres nicht der Fall ist, wenn der Versuch mit der gehörigen Umsicht angestellt wird.

hatte sich dagegen sehr viel schwefelsaurer Baryt niedergeschlagen. — Dieses Beispiel könnte durch eine Menge anderer vermehrt werden, wenn z. B. Salzsäure durch eine Silberauflösung durchwandern muss u. s. f.

Das allgemeine Resultat der Einwirkung der geschlossenen Säule auf zusammengesetzte Körper ist das, dass sich der negative Bestandtheil um den positiven, der positive um den negativen Pol herum ansammelt.

Faraday hat über diese überführenden Wirkungen Untersuchungen angestellt, aus welchen sich nicht blos ergibt, dass die Pole der Säule als solche, sofern man nemlich die Enden der von den Polen der Säule ausgehenden und in die zu zersetzende Flüssigkeit eintauchenden Metalldrähte Pole nennt, alle Bedeutung verlieren, sondern welche auch für die Theorie der elektrochemischen Zersetzung höchst wichtig sind.



Ein 4 Zoll hoher und eben so viel im Durchmesser haltender Glascylinder wurde durch eine Scheidewand *a* von Glimmer, die von seinem Rande  $1\frac{1}{2}$  Zoll herabhieng und an den Seiten vollkommen wasserdicht schloss, in die Quere getheilt. Ein 3 Zoll breiter Platinspatel *b* ward an der einen Seite der Scheidewand in den Cylinder gestellt, und daselbst durch einen am Boden liegenden Glasklotz festgehalten, so dass von dem Gase, welches im Laufe des Versuchs an ihm erzeugt wurde, nichts jenseits der Glimmerwand aufsteigen und daselbst Ströme in der Flüssigkeit erzeugen konnte. Eine starke Lösung von schwefelsaurer Bittererde wurde mit sorgfältiger Vermeidung alles Spritzens in den Cylinder gegossen, bis sie etwas über den untern Rand der Glimmerwand *a* empor gestiegen war, wobei sorgfältig darauf gesehen wurde, dass

in der linken oder *c* Seite des Cylinders weder das Glas noch der Glimmer oberhalb des Niveaus der Flüssigkeit durch Erschütterungen benässt wurde. Ein dünnes mit destillirtem Wasser durchnässtes Korkstück wurde nun auf der *c* Seite sanft auf die Lösung gesetzt, und auf dasselbe langsam destillirtes Wasser gegossen, bis es auf der Lösung der schwefelsauren Bittererde eine  $\frac{1}{8}$  Zoll dicke Schicht bildete. Jetzt wurde das Ganze einige Minuten stehen gelassen, damit alle am Korke haften gebliebene Lösung herabsänke, oder vom Wasser, das ihn trug, entfernt würde: dann wurde wieder destillirtes Wasser in ähnlicher Weise hinzugefügt, bis es beinahe den Rand des Cylinders erreichte. Auf diese Weise nahm die Lösung des Bittersalzes den ganzen untern Theil des Cylinders und rechts von der Glimmerwand auch den obern Theil desselben ein; aber links von der Scheidewand ruhte auf dieser Lösung eine  $1\frac{1}{2}$  Zoll dicke Wasserschicht *cd*, und zwar in einer sehr scharf abgeschnittenen Berührungsfläche. Ein zweiter Platinpol *e* ward gerade unter der Oberfläche des Wassers angebracht und zwar in einer fast horizontalen Lage, nur so viel geneigt, dass das während der Zersetzung entwickelte Gas entweichen konnte. Der untergetauchte Theil war  $3\frac{1}{2}$  Zoll lang und 1 Zoll breit, und durch eine etwa  $\frac{7}{8}$  Zoll dicke Schicht Wasser von der Bittersalzlösung geschieden.

Dieser letztere Pol *e* wurde nun mit dem *negativen*, der andere Pol *b* mit dem *positiven* Ende einer voltaschen Säule von 40 Paaren vierquadratzölliger Platten verbunden. An beiden Polen fand Wirkung und Gasentwicklung statt; aber durch die Dazwischenkunft des reinen Wassers war die Zersetzung, verglichen mit der, welche die Säule in einer gleichförmigen Lösung hervorgebracht haben würde, sehr schwach. Nach weniger als einer Minute erschien jedoch Bittererde an der *negativen* Seite: *aber sie erschien nicht an der negativen Pol, sondern im Wasser, an der Berührungs-*



fläche zwischen Wasser und Lösung; beim horizontalen Durchsehen durch den Cylinder konnte man wahrnehmen, dass sie auf der Lösung lag, und sich nicht über  $\frac{1}{4}$  Zoll über dieselbe erhob, während das übrige Wasser bis zum Pol hin vollkommen klar war. — Allmählig erregten die vom negativen Pol aufsteigenden Wasserstoffgasblasen einen Wirbel im Wasser, welcher in der Mitte empor und an den Seiten herabstieg und dem gerade unter dem Pol befindlichen Theil der Bittererdewolke das Ansehen gab, wie wenn er von diesem Pol angezogen würde; diese Erscheinung war indess ganz und gar die Wirkung der Ströme und stellte sich erst ein, lange nachdem die erwähnten Erscheinungen hinreichend ausgemittelt worden waren.

Nach einer Weile wurde die Verbindung der Flüssigkeit mit der voltaschen Säule unterbrochen, und die Pole mit möglichst geringer Erschütterung aus dem Wasser und der Lösung gezogen, damit die an ihnen haftende Flüssigkeit untersucht werden konnte. Der Pol *e* zeigte bei Berührung mit Curcumapapier *keine Spur von Alkali*; es konnte nichts als reines Wasser an ihm aufgefunden werden. Der Pol *b* dagegen, wiewohl aus einer grösseren Tiefe und Menge von Flüssigkeit hervorgezogen, wurde so sauer befunden, dass er unzweideutig auf Lacmus, die Zunge u. s. f. reagierte.

Aus diesem Versuch lassen sich einige wichtige Folgerungen ziehen, die vorderhand nur angedeutet, später, bei Gelegenheit der Erörterung der Theorie der elektrochemischen Zersetzung, wie sie Faraday aufgestellt hat, ausführlicher beleuchtet werden sollen.

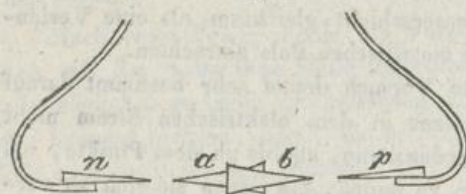
1) Die Benennung *Pole*, insofern man darunter die *Stellen* versteht, an welchen die Bestandtheile einer unter dem Einfluss der voltaschen Säule zersetzt werdenden Flüssigkeit sich ausscheiden, gebührt den in eine Flüssigkeit eintauchenden Enden der Metalldrähte, welche mit den Enden der

voltaschen Säule verbunden sind, nicht ausschliessend. Bei der gewöhnlichen Art, die Versuche anzustellen, werden allerdings die Bestandtheile der zersetzt werdenden Flüssigkeit um diese Pole herum ausgeschieden; in dem so eben erwähnten Versuch! aber scheidet sich die Bittererde nicht an dem metallischen Draht, sondern an der Berührungsfläche zwischen Wasser und schwefelsaurer Bittererdelösung aus. Will man daher die Stellen, an denen sich die Bestandtheile ausscheiden, und denen man aus diesem Grunde *anziehende Kräfte* beizulegen sich veranlasst finden könnte, *Pole* nennen, so würde die eben genannte Berührungsfläche den Namen *Pol* erhalten, und man müsste in dem erwähnten Versuch die Wasserschicht gleichsam als eine Verlängerung des negativen metallischen Pols betrachten.

2) Der erwähnte Versuch deutet sehr bestimmt darauf hin, dass eine Substanz in dem elektrischen Strom nicht weiter fortgeführt werden kann, als bis zu dem Punkte, wo sie aufhört Theilchen zu finden, mit denen sie sich zu verbinden vermag. So lange die aus der Zersetzung von schwefelsaurer Bittererde hervorgehende Bittererde auf dem mit schwefelsaurer Bittererdelösung angefüllten Weg sich befindet, scheidet sie sich nicht aus, weil sie immer Theilchen von schwefelsaurer Bittererde vorfindet, mit deren Schwefelsäure sie sich verbinden, und deren Bittererde sie vorwärts treiben kann; erst wenn die Reihe an das letzte Theilchen der schwefelsauren Bittererde kommt, scheidet sich die Bittererde desselben aus, weil es nicht vermag, sich mit dem Wasser zu verbinden; daher erfolgt die Ausscheidung der Bittererde an der Berührungsfläche zwischen Wasser und schwefelsaurer Bittererdelösung.

Bei dem so eben angeführten Versuch wurde ein Bestandtheil (Bittererde) der zersetzt werdenden Flüssigkeit *gegen Wasser* ausgeschieden. Faraday hat nun auch weiter bewiesen, dass die Bestandtheile solcher Flüssigkeiten

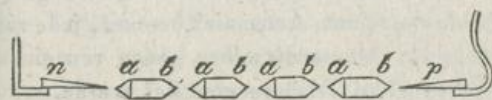
gegen Luft ausgeschieden werden können. Zu Versuchen dieser letzteren Art konnte natürlich die galvanische El. nicht gebraucht werden, weil ihr Strom wegen der sehr schwachen Spannung der auf diese Weise erregten El. durch die nicht leitende Luft gar zu sehr geschwächt wird; dagegen war hierzu die gemeine (Maschinen) El. ganz geeignet, weil diese, vermöge ihrer Spannung, wie gering auch ihre Quantität sey, durch jede Strecke eines auch schlechten Leiters so schnell, als sie entwickelt werden kann, mithin, was die Quantität betrifft, so schnell, als sie weit kürzere Strecken derselben leitenden Substanz durchlaufen haben würde, hindurchgeht.



Ein Stück Curcumapapier *a* und ein Stück Lacmuspapier *b*, beide mit einer Lösung von schwefelsaurem Natron (Glaubersalz) getränkt, wurden so zusammengelegt, dass sie einen feuchten Conductor bildeten, und dann mit Wachs zwischen den Spitzen zweier Nadeln befestigt, von denen die eine *p* durch einen Draht mit dem die positive El. zuführenden Conductor der Maschine, und die andere *n* mit der die negative El. des Reibekissens in den Boden fortführenden metallenen Ableitung verbunden war. Der Zwischenraum zwischen der Papier- und Nadelspitze betrug auf jeder Seite  $\frac{1}{2}$  Zoll; die positive Spitze *p* lag dem Lacmuspapier, die negative *n* dem Curcumapapier gegenüber. Nachdem die Maschine eine Zeitlang gedreht worden war, wurde die Lacmusspitze *b* von daselbst entwickelter Säure (Schwefelsäure des Glaubersalzes) geröthet, und ebenso die Curcumaspitze *a* durch die gleichzeitige Freiverdung von Alkali (Natron des Glaubersalzes). Als das Papier herumgedreht wurde, so dass die Curcumaspitze *a* dem die positive El.

zuführenden Conductor der Maschine, und die andere *n* mit der die negative El. des Reibekissens in den Boden fortführenden metallenen Ableitung verbunden war. Der Zwischenraum zwischen der Papier- und Nadelspitze betrug auf jeder Seite  $\frac{1}{2}$  Zoll; die positive Spitze *p* lag dem Lacmuspapier, die negative *n* dem Curcumapapier gegenüber. Nachdem die Maschine eine Zeitlang gedreht worden war, wurde die Lacmusspitze *b* von daselbst entwickelter Säure (Schwefelsäure des Glaubersalzes) geröthet, und ebenso die Curcumaspitze *a* durch die gleichzeitige Freiverdung von Alkali (Natron des Glaubersalzes). Als das Papier herumgedreht wurde, so dass die Curcumaspitze *a* dem die positive El.

zuführenden Draht *p*, und die Lacmusspitze *b* dem mit der Ableitung verbundenen Draht *n* zugekehrt war, verschwanden, nach kurze Zeit unterhaltenem Drehen der Maschine, beide rothen Flecken,



Wurden 4 kleine, aus Lacmus und Curcumapapier zusammen-

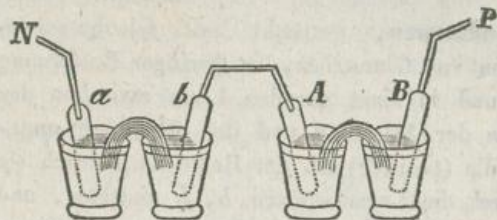
gesetzte Conductoren, getränkt mit Glaubersalzlösung und getragen von Glasstäben, in geringer Entfernung von einander, und in einer geraden Linie zwischen den Spitzen *p* und *n* der Maschine und der Ableitung angebracht, so dass die (positive) El. der Reihe nach durch sie durchgehen, durch die Lacmusspitzen *b, b* eintreten, und durch die Curcumaspitzen *a, a* austreten musste, so zeigten, nachdem die Maschine gedreht worden war, alle Lacmusspitzen freie Säure und alle Curcumaspitzen freies Alkali.

In den angeführten Fällen müsste, wenn man die Stellen, wo sich die Bestandtheile der zersetzt werdenden Substanz (nemlich die Schwefelsäure und das Natron des Glaubersalzes) ausscheiden, Pole nennen wollte, die Berührungsfläche von Luft und befeuchtetem Papier *Pol* genannt werden.

Endlich hat Faraday durch einen höchst sinnreichen Versuch bewiesen, dass die Erscheinungen der Zersetzung zusammengesetzter Körper und der Fortführung ihrer Bestandtheile nicht allein von den von den sogenannten Polen ausgehenden Kräften, sondern auch von den *chemischen Verwandtschaften der anwesenden Substanzen* abhängig sind, so dass solche Ueberführungen gerade bei *kräftigeren Verwandtschaften*, welche die Bestandtheile gegen einander äussern, unter *übrigens gleichen Umständen*, in höherem Maasse statt finden.

Er bereitete verdünnte Schwefelsäure von 1021.2 spec,

Gew., und eine Lösung von schwefelsaurem Natron von einer solchen Stärke, dass ein Maass von derselben genau eben so viel Schwefelsäure enthielt, als ein gleiches Maass von jener verdünnten Säure. Ferner wurde eine Lösung von reinem Natron und eine von reinem Ammoniak bereitet, jede von solcher Stärke, dass ein Maass derselben genau von einem Maasse der verdünnten Schwefelsäure gesättigt wurde.



Nun wurden 4 Glastassen aufgestellt, und 17 Maasse der verdünnten Schwefelsäure in jede der Tassen *a* und *b*, so wie 17 Maasse der Lösung des schwefelsauren Natrons in jede der Tassen *A* und *B* gegossen. Zur Verbindung der Tassen *a* und *b*, so wie der Tassen *A* und *B*, wurde Asbest angewandt, welcher gut mit Säure gewaschen, darauf der voltaschen Säule ausgesetzt (um mittelst dieser zersetzbarer Verbindungen, die der Asbest etwa enthalten mochte, zu zersetzen und fortzuschaffen), gut mit Wasser gewaschen und dann durch Ausdrücken getrocknet worden war; die Stücke waren an Gewicht möglichst gleich und so kurz als es thunlich war; *b* und *A* waren durch zwei an die Enden eines Drahts gelöthete Platten oder Pole von Platin verbunden, und die Tassen *a* und *B* standen durch ähnliche Platten in Verbindung mit einer voltaschen Batterie von 40 Paaren vierquadratzölliger Platten, nemlich *a* mit dem negativen und *B* mit dem positiven Pol derselben. Die Batterie, welche nicht stark geladen worden, wurde über  $\frac{1}{2}$  Stunde geschlossen erhalten. Hierdurch wurde die Gewissheit erhalten, dass ein gleicher Strom durch *ab* und durch *AB* gieng, und sowohl dort als hier eine gleiche Menge gleich starker Säure seiner Wirkung

unterworfen ward, nur dass sie dort blos in Wasser gelöst, hier zugleich an ein Alkali gebunden war.

Bei der Oeffnung der geschlossenen Batterie wurden die Asbeststücke ausgehoben und die an ihren Enden hängenden Tropfen in die respectiven Tassen fallen gelassen. Die Säuren in *a* und *b* wurden zuerst verglichen. Zwei Abdampfschaalen wurden tarirt, und die Säure von *a* in die eine, die von *b* in die andere gegossen; da die eine etwas schwerer war, als die andere, wurde ein Tröpfchen aus der schwereren in die leichtere gebracht, um beide an Gewicht gleich zu machen. Beim Neutralisiren mit der Natronlösung erforderte die Säure aus *a*, d. h. der negativen Tasse, 15 Maasse Natronauflösung, und die aus *b*, d. h. der positiven Tasse, 16.3 Maasse. Die Summe der zur Sättigung der Säure in *a* und *b* erforderlichen Natronlösung hätte  $2 \times 17 = 34$  Maasse betragen sollen, da in jede einzelne Tasse 17 Maasse Schwefelsäure gegossen worden waren, die zu ihrer Sättigung 17 Maasse Natronlösung erforderten; sie betrug aber nur  $15 + 16.3 = 31.3$  Maasse. Dass diese Summe weniger als 34 Maasse betrug, rührt hauptsächlich von in den Asbest eingesogener Säure her. Da demnach in den Tassen selbst 31.3 Maasse Säure sich befanden, die, bevor der elektrische Strom auf sie einwirkte, in beiden Tassen gleich vertheilt waren, so dass jede  $\frac{1}{2} \times 31.3 = 15.65$  Maasse Schwefelsäure enthalten haben musste, da aber, nach der Einwirkung des Stroms, die positive Tasse *b* 16.3 Th. Säure enthielt, so erhellt, dass 0.65 Maasse, d. h. etwas über  $\frac{1}{4}$  von der ursprünglich in der Tasse *a* befindlichen Säure durch den Einfluss des elektrischen Stroms (aus *a* in *b* geführt worden war.

Wurde nun auch die Säure in *A* mit der Säure in *B* verglichen, so fand sich, dass eine viel grössere Menge von Säure von *A* nach *B*, als von *a* nach *b* übergeführt worden war. Da beide Tassen *A*, *B* ursprünglich eine neutrale

Salzlösung enthalten hatten, und jetzt alle freie Säure in *B* und alles freie Alkali in *A* seyn musste, so war die Herstellung einer vollkommen genauen Gewichtsgleichheit der Flüssigkeiten in *A* und *B* nicht nöthig. Die Lösung in *A* erforderte zu ihrer Neutralisation 3.2 Maasse der Normal-Schwefelsäure, die Lösung in *B* zu der ihrigen ebenfalls 3.2 Maasse von der Normal-Natronlösung. Es befand sich mithin in *B* so viel freie Säure, in *A* so viel freies Alkali, dass beide einander gegenseitig neutralisirten. Aber nur die Hälfte der freien Säure in *B* wurde von *A* nach *B*, und nur die Hälfte des freien Alkalis in *A* von *B* nach *A* übergeführt: die andere Hälfte der freien Säure in *B* und des freien Alkalis in *A* kam dadurch zum Vorschein, dass im ersten Fall eine entsprechende Menge von Alkali aus der in *B* befindlichen schwefelsauren Natron-Lösung nach *A*, im letzten eine entsprechende Menge von Säure aus der in *A* befindlichen schwefelsauren Natronlösung nach *B* übergeführt wurde. Es kommen daher nur  $\frac{3.2}{2} = 1.6$  Maasse Schwefelsäure in Rechnung, die wirklich von den 17 Maassen Glaubersalzlösung, welche 17 Maasse der Normalschwefelsäure enthalten, von *A* nach *B* übergeführt wurden, was  $\frac{1}{10}$  der in *A* vor der Einwirkung der Kette enthaltenen Säuremenge gleich zu setzen ist, insofern auch hier der Asbest einige Säure und Alkali aus den Tassen weggenommen haben musste.

Bei einem andern Versuch gieng von der an Natron gebundenen Säure  $\frac{7}{10}$  bis  $\frac{7}{11}$  von *A* nach *B*, während von der freien Säure nur  $\frac{1}{33}$  von *a* nach *b* gieng.

Aus diesen Versuchen ergibt sich folgendes wichtige Resultat. Wenn eine gleiche Menge von Schwefelsäure unter der Einwirkung des gleichen Stroms sich befindet, so ist die von einem Pol zum andern fortgeführte Menge von Säure  $2\frac{1}{2}$  bis 3 mal grösser, wenn bei dieser Ueberführung die

starke Verwandtschaft der Schwefelsäure zu Natron, wie bei der mit Natron gesättigten Schwefelsäure, mit im Spiel ist, als wenn blos die schwache Verwandtschaft der Schwefelsäure zu Wasser, wie bei der freien verdünnten Schwefelsäure, wirksam ist.

Die oben (S. 819. ff.) angeführten Ueberführungserscheinungen, wo Säuren unter Einwirkung des Stroms von einem Pol zum andern durch Zwischengefässe, die Alkalien gelöst enthielten, hindurchgingen, ohne in ihrem Weg aufgehalten zu werden, sofern nur keine im Wasser unlösliche Verbindung entstehen kann, und wo auf gleiche Weise Alkalien durch Säuren hindurchgehen, verlieren nun alles Wunderbare, denn es erhellt aus dem so eben angeführten Versuch, dass die Uebertragung einer Säure z. B. von Pol zu Pol gerade um so mehr erleichtert wird, je mehr Alkali in der Bahn dieser Säure vorhanden ist, und es wird, unter übrigens gleichen Umständen, mehr Säure übergeführt werden, wenn das Zwischengefäss, durch welches die Säure ihren Weg nehmen muss, ein wässriges Alkali, gegen welches sie eine bedeutende Verwandtschaft äussert, als wenn es Wasser oder eine wässrige Säure enthält.

Betrachten wir nun die einzelnen Körper selbst, welche unter dem Einfluss des elektrischen Stroms zersetzt werden.

*Elementarstoffe* können keine Zersetzung erleiden; werden sie jedoch in wässriger Lösung oder nur in Berührung mit Wasser in den Kreis der Kette gebracht, so können dadurch, dass das Wasser zersetzt wird, dessen Bestandtheile in ihrem status nascens eine grössere Neigung besitzen, mit andern Körpern sich zu verbinden, Verbindungen entstehen, die ohne den Einfluss der Säule nicht gebildet worden wären.

Wird z. B. eine wässrige Lösung von *Chlor* der Einwirkung der Säule ausgesetzt, so verbindet sich der am negativen Pol frei werdende Wasserstoff mit Chlor zu Salzsäure, die Wasserstoffgasentwicklung hört daher auf oder



wird doch vermindert; der am positiven Pol sich entwickelnde Sauerstoff dagegen scheint, grösstentheils wenigstens, als Sauerstoffgas frei zu werden, da der Sauerstoff überhaupt wenig Neigung hat, sich mit Chlor zu verbinden. — Wenn *Jod* in Berührung mit Wasser in den Kreis der Kette gebracht wird, so scheint sich Jodwasserstoffsäure und Jodsäure zu bilden: werden trocknes Jod oder wasserfreies Brom zwischen die Pole der Säule gebracht, so erfolgt natürlich keine Zersetzung, vielmehr wird die Strömung unterbrochen. Gut ausgeglühte *Kohle* wirkt, wie schon oft erwähnt wurde, wie ein Metall, wenn sie zwischen die Polardrähte einer Säule gebracht wird. Werden aber die mit Kohlenstücken versehenen Enden der Polardrähte in Wasser getaucht, so dass mithin die Kohle selbst die Pole der Säule bildet, welche durch Wasser geschlossen wird, so verbindet sich der Sauerstoff des zersetzten werdenden Wassers mit der Kohle des positiven Pols zu Kohlensäure, welche theils vom Wasser verschluckt wird, theils sich gasförmig entbindet, der Wasserstoff des Wassers aber wird von der Kohle des negativen Pols anfangs verschluckt, entbindet sich aber später gasförmig, ohne jedoch mit Kohle als Gas in Verbindung zu treten. — Wenn Kohle, die sich mit Metallen verbinden kann, den negativen Pol in einer Metalllösung bildet, so verbindet sie sich nicht mit den aus der Lösung auf ihre Oberfläche abgelagerten Stoffen; wenn sie aber in verdünnter Schwefelsäure den positiven Pol bildet, so ist sie fähig, sich mit dem daselbst entwickelten Sauerstoff zu verbinden, und erzeugt daher Kohlensäure und Kohlenoxydgas in Menge.

Wird trockne Kohle zwischen die Pole einer Kette gebracht, welche zur Hervorbringung der Glühungs-Erscheinungen vorzüglich geeignet ist, wo es, wie wir gesehen haben, nicht sowohl auf die Anzahl als vielmehr auf die Grösse der Plattenpaare und eine gut leitende Flüssigkeit

ankommt, wird z. B. Kohle zwischen die Pole eines sogenannten Deflagrators gebracht, so zeigt sich die merkwürdige Erscheinung, dass die am Zinkpol befestigte Kohle eine kegelförmige Höhlung, die am Kupferpol befestigte dagegen eine mehr oder weniger beträchtliche Verlängerung darbietet, so dass also vom Zinkpol zum Kupferpol in der Richtung des Stroms eine Fortführung von Kohlentheilchen statt gefunden haben muss. Man wollte hiebei auch eine theilweise Schmelzung der Kohle, selbst Bildung diamantartiger Produkte beobachtet haben; dieses scheint jedoch eine Täuschung gewesen zu seyn, und die erhaltenen Glaskugeln scheinen bloß von geschmolzener Asche der Kohle hergerührt zu haben.

Bringt man *Sauerstoffsäuren* in den Kreis der Kette, so erscheint im Allgemeinen der Sauerstoff am positiven, das Radical am negativen Pol; werden dagegen *Wasserstoffsäuren* zwischen die Pole gebracht, so geht der elektropositivere Wasserstoff zum negativen, und das elektronegativere Radical zum positiven Pol. Weil aber zugleich das Wasser zersetzt wird, welches der Säure gewöhnlich beigemengt ist, so können in gewissen Fällen die Bestandtheile desselben mit den ausgeschiedenen Bestandtheilen der Säure in Verbindung treten; es scheint sogar der Fall nicht selten vorzukommen, dass die Säure selbst durch den elektrischen Strom gar nicht zersetzt wird, sondern dass bloß das Wasser zersetzt wird, dessen Bestandtheile, indem sie an den entgegengesetzten Polen auftreten, in ihrem status nascens besonders geneigt sind, der eine mit dem einen, der andere mit dem andern Bestandtheil der an diesen Polen befindlichen Säure sich zu verbinden und den andern Bestandtheil derselben in Freiheit zu setzen. In solchen Fällen würde daher die Zersetzung der Säure keine unmittelbare Wirkung des elektrischen Stroms seyn.

Starke *Salpetersäure* liefert nach Faraday am positiven Pol viel Sauerstoff, am negativen aber kein Gas, son-

ßern nur salpetrige Säure; verdünnte Salpetersäure wird nach ihm nicht verändert, indem blos Wasser zersetzt wird. Andere haben die Bildung von Ammoniak am negativen Pol beobachtet. Es ist wahrscheinlich, dass diese Zersetzungserscheinungen der Salpetersäure nicht ursprüngliche, sondern blos secundäre Wirkungen der Kette sind, d. h. dass durch die Kette nicht die Salpetersäure selbst, sondern blos das Wasser derselben zersetzt wird, wobei der am negativen Pol erscheinende Wasserstoff theils dadurch, dass er nur mit einem Theil des Sauerstoffs der an diesem Pol befindlichen Salpetersäure zu Wasser sich verbindet, zur Bildung von salpetriger Säure, theils dadurch, dass er einem Theil Salpetersäure allen Sauerstoff entzieht, und noch ausserdem mit dem freiwerdenden Stickstoff in Verbindung tritt, zur Bildung von Ammoniak Veranlassung geben kann.

Auf analoge Weise wird die *Schwefelsäure* zersetzt. Ihr Sauerstoff sammelt sich am positiven Pol, und am negativen scheidet sich theils Schwefel, theils schweflige Säure aus; zugleich verbindet sich ein Theil Schwefel mit dem Wasserstoff des zugleich zersetzten Wassers, während der übrige Schwefel die Flüssigkeit trübt. Auch auf diese Zersetzung scheint die Verdünnung der Flüssigkeit einen Einfluss auszuüben. — Die *Arseniksäure* und *arsenige Säure* werden in Metall und Sauerstoffgas zersetzt; es soll sich auch Arsenikwasserstoffgas bilden. *Phosphorsäure* und *Borsäure*, in Wasser gelöst oder damit befeuchtet, können nur mittelst sehr kräftiger Apparate zersetzt werden.

*Salzsäure*, *Bromwasserstoffsäure*, *Jodwasserstoffsäure*, *Flusssäure*, *Blausäure* zersetzen sich in Wasserstoffgas, das sich am negativen, und in Chlor, Brom, Jod, Fluor, Cyan, die sich am positiven Pol ausscheiden, und sich, wie namentlich Fluor, Chlor u. s. f., mit dem positiven Polardraht chemisch verbinden.

Von den *Salzbasen* werden sehr viele durch die Säule zer-

zersetzt, bei andern ist dieses jedoch bis jetzt nicht gelungen. Nicht zersetzt werden die *Erden*, und nur bei der Bittererde gelang die Zersetzung mit Hülfe des Quecksilbers (vergl. S. 393.). — Auch die *eigentlichen Metalloxyde*, deren Metalle zu dem Sauerstoff bekanntlich eine geringere Verwandtschaft haben, als die Erdmetalle, werden, *in ganz trockenem Zustand* zwischen die Polardrähte der Säule gebracht, im Allgemeinen nicht zersetzt, und erfahren überhaupt, wegen ihrer isolirenden Eigenschaft, nur bei sehr kräftigen Säulen eine Einwirkung, die dann darinn besteht, dass das Metalloxyd erhitzt oder geschmolzen wird, in welchem letzterem Fall allerdings zugleich eine Reduction des Oxyds erfolgen kann, insofern es im flüssigen Zustand leitend wird. *In Berührung mit Wasser* dagegen in die Kette gebracht erfahren die *eigentlichen Metalloxyde* im Allgemeinen eine reducirende Wirkung, die entweder direct ist, so dass nemlich das Metall des Oxyds nach dem negativen, der Sauerstoff nach dem positiven Pol hingehet, oder indirect, indem die Reduction auch dadurch bewirkt werden konnte, dass der Wasserstoff des zersetzten Wassers mit dem Sauerstoff des Oxyds Wasser bildete, und das Metall in Freiheit setzte.

Von der Zersetzung der *fixen Alkalien* durch die Säule theils für sich, theils mit Beihülfe des Quecksilbers, war schon S. 393, und von der Zersetzung des mit Quecksilber in Berührung befindlichen Ammoniaks S. 394. die Rede. In Beziehung auf die Zersetzung der *fixen eigentlichen Alkalien*, namentlich Kali und Natron, ist schon bei einer andern Gelegenheit bemerkt worden, dass dazu eine vielplattige Säule erfordert wird; eine zu kräftige, aus grosplattigen Metallen zusammengesetzte Säule ist jedoch desswegen nicht gut anwendbar, weil dann wegen der starken Hitze, die sich entwickelt, das ausgeschiedene Metall im Augenblick seiner Entstehung wieder verbrennt. — Dass die alka-

lischen Erden nur mit Beihülfe des Quecksilbers durch die Säule zersetzt werden können, ist S. 394. bemerkt worden.

Das reine concentrirte wässrige Ammoniak leitet die El. sehr schlecht, und wird daher schwierig zersetzt. Wird aber schwefelsaures Ammoniak darinn aufgelöst, so geht nach Faraday die Zersetzung sehr gut von statten; der Stickstoff wird fast, in einigen Fällen ganz rein, am positiven, der Wasserstoff am negativen Pol entwickelt. Aber auch hier ist die Zersetzung keine unmittelbare Wirkung des elektrischen Stroms, sondern ein bloß secundärer Effect. Befindet sich nemlich wässriges Ammoniak am negativen und Wasser am positiven Pol, so erhält man nach Davy kein Stickgas mehr, weil jetzt kein Sauerstoff zum Ammoniak übergeführt werden kann, sondern bloß Wasserstoffgas und Sauerstoffgas in den zur Wasserbildung erforderlichen Verhältnissen.

Von der Zersetzung der Salze durch die Säule war zwar schon bei den überführenden Wirkungen im Allgemeinen die Rede, wo wir gesehen haben, dass sich die Säure zum positiven, die Basis zum negativen Pol hin begibt. Hier will ich noch einige Bemerkungen hinzufügen, die sich auf einzelne Fälle beziehen. Wenn die Basis des Salzes ein Alkali oder eine Erde ist, so wird sie sich unverändert am negativen Pol ausscheiden, und der Wasserstoff des zugleich zersetzten Wassers wird sich an demselben Pol als Wasserstoffgas entwickeln; ist dagegen die Basis ein schweres Metalloxyd, so wird zwar in gewissen Fällen auch dann, namentlich wenn die Verwandtschaft des Metalls zu dem Sauerstoff eine sehr grosse, oder wenn die Wirkung der Säule schwach ist, das Oxyd unzersetzt um den negativen Pol angesammelt bleiben: in der Regel aber wird der Wasserstoff des zersetzten Wassers zur Reduction des daselbst angesammelten Oxyds verwandt werden, man wird eine Ausscheidung von regulinischem Metall, anstatt eines Niederschlags von

Metalloxyd, aber keine oder eine geschwächte Entbindung von Wasserstoffgas erhalten. Die Basis der im Wasser gelösten alkalischen Salze wird nur dann in Metall und Sauerstoff zersetzt, wenn sich am negativen Pol Quecksilber befindet, mit welchem sich das reducirte Metall amalgamiren kann, und durch welches dasselbe gegen Oxydation geschützt wird. Eine aus einem Salz am positiven Pol ausgeschiedene Sauerstoffsäure scheint nur dann eine Zersetzung zu erleiden, wenn es eine metallische Säure z. B. Arseniksäure, Molybdänsäure ist. Die am positiven Pol ausgeschiedene Wasserstoffsäure eines Salzes dagegen wird ganz oder zum Theil von dem an demselben Pol gleichzeitig ausgeschiedenen Sauerstoff zersetzt, und das Radical derselben wird entweder in Freiheit gesetzt oder verbindet sich mit dem Metall des Polardrahts.

Es verdient noch bemerkt zu werden, dass wenn man ein saures Salz der Zersetzung unterwirft, dasselbe *zuerst* in Säure und neutrales Salz zersetzt wird, und *erst nachher* die Zersetzung des neutralen Salzes in Säure und Basis erfolgt, wornach man ein saures Salz nicht schlechtweg als aus Säure und Basis, sondern zunächst als aus Säure und neutralem Salz zusammengesetzt zu betrachten haben würde.

Auch solche Salze, die schwer oder gar nicht im Wasser löslich sind, können bei hinlänglicher Befeuchtung mit Wasser durch die Säule zersetzt werden; ja selbst die Glasröhren, in denen das Wasser eingeschlossen wird, geben hiebei Bestandtheile aus ihrer Substanz her.

Bei den bisher angeführten Zersetzungen der Körper durch die voltasche Säule war entweder Wasser selbst der der Zersetzung unterworfenen Körper, oder wurden in der Regel die zu zersetzenden Körper mittelst Wassers in den flüssigen Zustand versetzt. Da somit immer Wasser mit im Spiel war, so musste dadurch der Erfolg in vielen Fällen complicirt werden, dass sich die Bestandtheile des Wassers mit

den Bestandtheilen des Körpers, dessen Zersetzung beabsichtigt wird, verbunden. Ausserdem konnten solche Sauerstoff-Verbindungen, deren Radical das Wasser zersetzt, unter diesen Umständen keine Zersetzung erleiden. Die im Wasser löslichen Chlor,- Brom,- Jod,- Fluor,- Schwefel-Metalle z. B. können in ihrem im Wasser gelösten Zustand nicht in Radical und Metall zersetzt werden, weil, vermöge der gleichzeitigen Zersetzung des Wassers, Wasserstoffsäuren und Metalloxyde gebildet werden; im Wasser gelöste Alkalien können schon desswegen nicht zersetzt werden, weil die Metalle derselben das Wasser zersetzen. Ausserdem wird die Kraft der Kette grösstentheils durch die Zersetzung des Wassers consumirt und muss auch schon aus dem Grunde bedeutend geschwächt werden, weil das Wasser ein sehr schlechter El. Leiter ist.

Wir haben aber oben S. 629. gesehen, dass die meisten Körper, die in ihrem starren Zustand Nichtleiter der El. sind, zu Leitern werden, wenn sie durch die Wärme in den tropfbar-flüssigen Zustand versetzt werden, und dann werden sie auch *in der Regel* durch die voltasche Säule zersetzt, wenn sie überhaupt einer Zersetzung fähig, d. h. zusammengesetzt sind, und es ist bemerkenswerth, dass gerade die nicht-metallischen Elemente, Schwefel und Phosphor, die mithin keiner Zersetzung fähig sind, und die im starren Zustand die El. nicht leiten, auch im flüssigen Zustand nicht zu Leitern werden.

Diese Thatsache muss zu äusserst wichtigen Resultaten für die Chemie führen, und es lässt sich voraussehen, dass viele Elemente, deren Darstellung bisher sehr umständlich war, mit leichter Mühe auf die Weise werden darstellbar seyn, dass man *durch Wärme schmelzbare* Verbindungen derselben in den Kreis der Kette bringt. Bereits hat Faraday nachgewiesen, dass eine Menge von Oxyden, Chloriden, Jodiden, Fluoriden, Cyaniden, Sulphureten, Salzen, in ihrem

durch Feuer hervorgebrachten tropfbar-flüssigen Zustand zu Leitern werden und dann eine Zersetzung in ihre Bestandtheile erleiden, wenn sie in den Kreis der Kette gebracht werden; namentlich hat er nachgewiesen, dass die Metalle der Alkalien durch Zersetzung ihrer geschmolzenen Chlorverbindungen erhalten werden können, und es wird daher höchst wahrscheinlich eine leichte Methode sich auffinden lassen, die Metalle der Alkalien und Erden mittelst der voltaschen Säule in grösseren Mengen zu erhalten.

Uebrigens werden nicht alle Verbindungen, die im starren Zustand Nichtleiter sind, in tropfbar-flüssigem Zustand zu Leitern, und solche Verbindungen werden dann auch nicht im Kreis der Kette zersetzt. Hieher gehören Jodschwefel, Zinniodid, Operment, Realgar, Eisessig, Zucker, Harz u. s. f.

Auch gibt es eine Substanz (und vielleicht entdeckt man deren mehrere) — das Quecksilberiodid —, die in starrem Zustand ein Nichtleiter, in flüssigem ein Leiter ist, und die in diesem letztern Zustand dennoch keine Zersetzung erleidet.

---