

Electricität. Wird nun erst K' aufgelegt, so nimmt Z' ihm sogleich positive Electricität, und läßt nicht eher einen Ruhezustand der electricischen Materien eintreten, bis das Zink seinen gehörigen Vorzug an positiver Electricität hat, das heißt, wie wir vermuthen dürfen, da die Leitung durch die unteren Schichten immerfort statt findet, nicht eher bis K' um 2 Grade negativ ist. Unstre Vermuthung nimmt nämlich an, das Gleichgewicht finde statt, wenn $K' = -2$, $Z' = -1$, $K = -1$, $Z = 0$ ist, oder wenn die Ladungsdifferenz der sich berührenden Electromotoren ihrer eigenthümlichen Natur gemäß ist. Schließen wir nach eben dem Princip weiter für den Aufbau von vier Schichten (Fig. 35), so muß für $Z = 0$, $K = -1$, $Z' = -1$, $K' = -2$, $Z'' = -2$, $K'' = -3$, $Z''' = -3$, $K''' = -4$ seyn, weil der feuchte Leiter zwischen K , Z' , zwischen K' , Z'' , zwischen K'' , Z''' die Gleichheit vermittelt.

Diese Schlüsse waren hypothetisch, — so muß es erfolgen, wenn der Lehrsatz richtig ist, daß in jedem Falle die sich berührenden Metalle, Zink und Kupfer, die bestimmte Differenz fordern, — aber diese hypothetischen Schlüsse bestätigte nun Volta durch Prüfung jeder einzelnen Schichtung am Condensator auf das vollkommenste, und in ihrer Bestätigung lag die Entdeckung der voltaischen Säule. Volta übersah jetzt, daß eine Schichtung von hundert Plattenpaaren die Wirkung auf das Hundertfache verstärken müsse, und es läßt sich vollkommen einsehen, daß, während das Erstaunen aller Physiker die Entdeckung der Säule als die unerwartetste und überraschendste feierte, Volta mit voller Wahrheit sagen konnte, die Wirkungen der Säule hätten seinen Erwartungen Genüge gethan, aber ihn nicht überrascht, da die Reihe von Entdeckungen, auf welche die Entdeckung der Säule sich gründete, ihm schon im Voraus den Erfolg verbürgte.

Achtundsechzigste Vorlesung.

Voltaische Säule.

Die electricische oder voltaische Säule, deren Entdeckung ich Sie neulich Schritt für Schritt zu verfolgen veranlaßt habe, besteht, wie Sie aus dem Vorigen übersehen haben, in einer wiederholten Schichtung der drei Körper, aus denen wir die ersten Schichten hervorgehen ließen. Zwei Metalle, und zwar solche, die bei der Berührung recht bedeutende Zeichen von Electricität geben oder die in der Reihe der Electromotoren weit von einander entfernt sind, und als dritter Körper eine nasse Luch- oder Wappschelbe werden in immer gleicher Ordnung auf einander gelegt, und die Menge dieser Plattenpaare bestimmt den Grad der entstehenden Electricität. Obgleich aber jeder feuchte Leiter die Stelle des dritten Körpers einnehmen kann, so ist doch reines Wasser weniger gut, als ein mit Säuren oder Salzen geschwängertes Wasser,

geschickt, diejenigen Wirkungen hervorzubringen, welche am meisten die Aufmerksamkeit der Physiker erregten, nämlich die starken körperlichen Empfindungen, die man bei der Schließung vielschichtiger Säulen wahrnimmt, die chemischen Erscheinungen u. s. w. Volta glaubte diese vollkommene Wirkung einzig der besseren Leitung, welche die Säuren und Salze gewähren, zuschreiben zu müssen, und wenn auch nicht ganz allein in ihr die Ursache der stärkern Wirkung liegt, so trägt sie doch mit dazu bei, und wir wollen für jetzt uns mit dieser Auskunft befriedigen.¹

Electrische Spannung in der ungeschlossenen Säule.

Sobald die Säule bekannt wurde (am Ende des Jahres 1799), beschäftigten sich die Physiker mit allen den Eigenschaften, wodurch sie sich auszeichnet; ich werde aber zuerst bei denjenigen Untersuchungen verweilen, die mit der Entdeckung im nächsten Zusammenhange stehen, nämlich bei denen, welche die electroscoptischen Eigenschaften betreffen. Volta hatte diese während des ganzen Fortganges seiner Untersuchung beobachtet, aber für die übrigen Naturforscher war es eine neue Beobachtung, daß wirklich der Zinkpol der Säule, dasjenige Ende nämlich, gegen welches zu man in der Ordnung Kupfer, Zink, feuchter Leiter fortschreitet, positive Electricität, der Kupferpol negative Electricität darbot. Es war den Physikern eine neue Beobachtung, daß diese Electricität am Condensator verstärkt eben die Erscheinungen, wie die gewöhnliche Electricität, darbot, daß man electrische Flaschen — wenn gleich sehr schwach — durch sie laden,² die Lichtenbergischen Figuren durch sie darstellen konnte u. s. w.

Wenn man die Säule auf einer isolirenden Unterlage aufstellte, so konnte man entweder die Electricität am obern Ende auf ihren vollen Grad steigen lassen, wenn man dem untern Ende eine Ableitung gab, oder die Electricität des obern Endes auf die Hälfte herabsetzen, wenn man die Isolirung des untern Endes herstellte. In dieser ungeschlossenen Säule nämlich, wo keine Leitung außer der Säule selbst die beiden Pole in Verbindung setzt, tritt der Ruhezstand der electrischen Materien dann ein, wenn jede Zinkplatte ihren gehörigen Vorzug an positiver Electricität hat, und daß dieses, wenn Kupfer unten, Zink darauf liegt und dann der feuchte Leiter das zweite Plattenpaar trennt, so geschieht, daß die erste Zinkplatte einen bestimmten Grad, die Zinkplatte der zweiten Schichtung zwei Grade positiver Electricität erlangt, habe ich für den Fall, daß unten eine Ableitung statt findet, schon früher angegeben. Berührt man aber oben und unten ableitend die Säule und überläßt sie isolirt stehend nun wieder sich selbst, so findet man von der Mitte aus die positive Ladung desto stärker, je höher man hinaufgeht, die negative

¹ Die stärkere Wirkung wird, wie wir jetzt wissen, hauptsächlich auch durch die chemische Einwirkung des feuchten Leiters auf das positive der beiden Metalle bedingt. Am intensivsten wirkt concentrirte Salpetersäure. (M.)

² Wenn der feuchte Leiter gut leitet, so genügt eine augenblickliche Berührung zwischen den Polen der nicht isolirten Säule und der innern Besetzung einer Flasche der Batterie, um die letztere vollständig zu laden. (M.)

besto stärker, je tiefer man hinabgeht, so daß die Säule aus Hundert Plattenpaaren nun Null in der Mitte, + 50 am Zinkende (welches ich als das obere annahm), — 50 am Kupferende zeigt, statt daß sie, unten mit Ableitung versehen, oben + 100 angab. Setzt man irgend eine Mittelschicht mit der Erde in Verbindung und läßt beide Enden isolirt, so zeigt jedes Ende den Grad von Electricität, der seiner Schichtenzahl entspricht. War z. B. in der Säule aus 100 Plattenpaaren, wo Kupfer unten, Zink oben ist, die 70ste Schicht von unten herauf abgeleitet, so mußte oben die + E 30 Grad und unten die — E 70 Grad haben, wenn wir mit dem Namen eines Grades immer die sehr schwache Electricität bezeichnen, die sich schon bei der aus einem Plattenpaare bestehenden Kette zeigt. Diese Regel findet sich, so weit die geringe Stärke der Electricität eine genaue Abmessung erlaubt, vollkommen bestätigt.

Die trockene Säule.

Bisher habe ich immer den Leiter der zweiten Art als einen feuchten Leiter erwähnt, aber wenn es bloß auf Beobachtung der electroscopischen Erscheinungen ankommt, so lassen sich auch Papierschichten anwenden, die wir trocken nennen, wenn sie gleich dieß nicht im vollkommensten Sinne seyn dürfen. Die große Veränderlichkeit, welcher die feuchten Säulen unterworfen sind, ließ wünschen, daß man eine Anordnung trockener Säulen finden möge, und Marechaur, Behrens und Andre hatten schon die Möglichkeit solcher Säulen gezeigt, als Zamboni eine sehr passende Anordnung angab, die unter dem Namen Zamboni's Säule in allgemeinen Gebrauch gekommen ist.

Diese trockne Säule besteht aus eben solchen Schichtungen von unächtem Gold- und Silberpapier, wie vorhin die Metalle und der feuchte Leiter sie darboten. Die Metallseiten dieser Papiere, deren Metall meistens Kupfer bei dem einen, Zink bei dem andern ist, werden in Berührung gebracht, das anscheinend trockne Papier vertritt die Stelle des feuchten Leiters, und wenn man also diese Doppelschichten, deren jede nämlich schon aus unächtem Gold- und Silberpapier besteht, so auf einander legt, daß immer dieselbe Papierforte zu unterst kommt, so hat man eine richtig geordnete Säule, in welcher das Kupfer des Goldpapiers mit dem Zink des Silberpapiers in metallischer Berührung ist, dann aber die Papiermasse des Silberpapiers und die daran anliegende Papiermasse des Goldpapiers die Stelle des Leiters der zweiten Art einnehmen. Damit die Metallflächen sich innig berühren, werden die Papiere, nachdem sie richtig geordnet sind, mit Seidenfäden fest zusammengebunden. Diese Säulen, denen Zamboni durch einen Ueberzug von schwefelsaurem Zink an der einen und Braunstein (Manganoxyd) an der andern Seite noch mehr Kraft gab, die man aber gewöhnlich bloß aus jenen Papieren bildet, lassen sich nun leicht zu mehreren tausend Plattenpaaren aufbauen,¹ und sie zeigen dann die Wirkungen des Anziehens und Abstoßens vollkommen deutlich.

¹ Bechstein in Altona construirte einen Apparat dieser Art wozu den größten je

Stellt man zwei solche Säulen AB, CD (XIII. Fig. 36) neben einander, und zwar so angeordnet, daß in AB das Goldpapier mit seiner Metallseite auf der Metallseite des Silberpapiers liegt, in CD dagegen die umgekehrte Ordnung statt findet, so ist bei A das negative, bei C das positive Ende der Säule. Wenn die Kugeln E, F mit den obern Schichten der Säulen in guter Leitungsverbindung stehen, so zeigen sie diese beiden Electricitäten, und man pflegt zwischen ihnen das nur wenig oberhalb seines Schwerpunktes bei H unterstützte Pendel GI aufzustellen, dessen oberer Theil eine Metallkugel, die Stange IG dagegen Glas ist; bringt man nun das Metall I mit E in Berührung, so wird es negativ und von E abgestoßen, zugleich aber von F angezogen, und das Pendel setzt sich daher, wechselsweise die obern Pole der Säulen ausladend, in eine oscillirende Bewegung. Die Fortdauer dieser Bewegung beruht darauf, daß in beiden Endpunkten durch die electromotorische Wirkung aller Schichten sogleich, oder wenigstens in einem kurzen Zeitverlaufe, diejenige Electricität wieder hervortritt, die jedem Pole der Säule zukommt. Damit diese Erneuerung der Wirkung schnell genug eintrete, muß man die Platten ziemlich groß (3 Zoll im Durchmesser oder darüber) nehmen, und damit die Wirkung überhaupt stark genug sey, muß man mehrere tausend Plattenpaare anwenden. Mit 8000 Plattenpaaren hat man dem Pendel Kraft genug gegeben, um ein leichtes Uhrwerk zu treiben, das, so lange nicht Aenderungen in der Säule vorgehen (indem etwa durch zu viele Feuchtigkeit die Metalle ihren Glanz verlieren oder durch allzu starkes Austrocknen die Leitung zu schwach wird), seinen Gang ziemlich gleichmäßig fortsetzt.

Wenn man jenes Pendel wegnimmt und bei E zwei Goldblättchen aufhängt, so stoßen diese einander ab, und die Prüfung mit angenähertem Glase oder Siegellack zeigt, ob E die positive oder negative Electricität habe. Bringt man an E oder F eine isolirte Metallscheibe, so kann man mit dieser die Electricität auf ein auch entfernter stehendes Electrometer übertragen. Stellt man den Knopf einer Verstärkungsflasche nahe an die bei E aufgehängten Goldblättchen, so sieht man, wie diese sich an dem Knopfe ausladen und dabei genau die Gesetze der gewöhnlichen Electricität befolgen. Steht nämlich die Flasche isolirt, so hören die Goldblättchen bald auf, durch ihr zuerst immer erneuertes Annähern die Ladung fortzusetzen; berührt man aber dann die äußere Belegung der Flasche und zieht dadurch die innen entstandene Ladung gegen die innere Oberfläche des Glases, so setzen die Goldblättchen ihr Zuführen electricischer Materie fort, und erst nach langer Zeit, wenn nämlich die Flasche ganz geladen ist, hört, wofern unterdeß der äußern Belegung Ableitung gegeben wurde, die Fortsetzung der Ladung auf. Diese Ladung ist nun allerdings immer noch schwach; aber bei einer Säule von 2000 Plattenpaaren und einer Flasche von 2 Quadratfuß Belegung ist sie doch hinreichend, um, wenn man die Finger, ehe man die äußere Belegung und den Knopf der Flasche

ausgeführten) aus zwei Säulen, deren jede aus 10000 Scheiben Gold- und Silberpapier von 16 Quadrat Zoll Oberfläche bestand. (M.)

berührt, stark mit salzigem Wasser befeuchtet hat, bei der Ausladung mit so benetzten Fingern eine merkliche Empfindung, einen schwachen Schlag, zu geben. Mehr kann man nach der immer noch sehr geringen Größe der electroscopischen Erscheinungen nicht erwarten.

Die vollkommene Ladung der trockenen Säule stellt sich nicht, wie bei den feuchten Säulen, in einem Augenblicke her, sondern die Zeit, welche dazu erfordert wird, ist desto größer, je kleiner die Papierscheiben sind. Bohnenberger bediente sich zur Ladung einer electrischen Flasche von 59 Quadratzoll Belegung einer Säule von 4000 Doppelplatten, die nur 8 Quadratlinien groß waren, und bewirkte die Ladung erst in 170 Minuten; dagegen brachten 2000 Doppelplatten von 432 Quadratlinien diese Ladung in 7 Minuten zu Stande und 4000 Doppelplatten würden daher nur $3\frac{1}{2}$ Minuten gebraucht haben; die 54mal so großen Papiere bewirkten also die Ladung in einer Zeit, die nur $\frac{1}{19}$ der Zeit betrug, deren die kleineren bedurften, und man irrt nicht sehr, wenn man die Zeit umgekehrt proportional der Plattengröße und Plattenzahl setzt. Der Grund dieser ungleich schnellen Ladung ist auch ziemlich einleuchtend. Die Langsamkeit der Ladung beruht auf mangelhafter Leitung, und es finden sich gewiß in der großplattigen Säule nach Verhältniß ihres Querschnittes mehr gut leitende Punkte, also erfolgt hier schnellere Ladung.

Daß die hier statt findende Wirkung dem Wesentlichen nach dieselbe sey, wie bei den feuchten Säulen, läßt sich gar nicht bezweifeln, indeß haben Zamboni, Bohnenberger u. A. auch durch bestimmte Versuche nachgewiesen, daß eine mit nassen Leitern aufgebaute Säule beim allmäligen Austrocknen zwar aufhört, chemische Wirkungen zu zeigen und auf das Gefühl zu wirken, aber fortfährt, die electrische Spannung ebenso wie früher, jedoch mit langsamerer Erneuerung, zu zeigen, so wie es die trockene Säule thut.

Da ich von den chemischen und physiologischen Wirkungen der feuchten Säule noch nichts gesagt habe, so könnte ich diese Wirkungen auch hier unerwähnt lassen; indeß will ich doch kurz bemerken, daß sehr vielschichtige und großplattige trockene Säulen allerdings auch chemisch wirken, daß sie da, wo das Pendel an die Kugeln EF (Fig. 36) anschlägt, einen im Dunkeln sichtbaren Funken geben, und daß diese Wirkungen nur darum sehr schwach bleiben, weil die Electricität sich zu langsam ersetzt und der electrische Strom in der geschlossenen Säule nicht schnell genug thätig ist, um diese Wirkungen ausfallender hervorzubringen.

Bohnenberger's Electrometer.

Hier findet nun endlich auch das höchst empfindliche Electrometer seine Erklärung, dessen man sich gern sogleich vom Anfange der Electricitätslehre an bedient. Es ist von Behrens zuerst angegeben, aber von Bohnenberger in der bequemsten Form dargestellt worden, und besteht entweder (wie Fig. 37 zeigt) aus zwei trockenen electrischen Säulen AB, CD, deren entgegengekehrte Pole unten einander gegenüber liegen und zwischen denen ein leicht

bewegliches Goldblättchen herabhängt, oder (wie Fig. 38 zeigt) aus einer electrischen trocknen Säule A B, von deren beiden Polen Leiter A C, B D hinaufgeführt sind, um zur Anziehung und Abstoßung des Goldblattes E F zu dienen. In beiden Fällen hängt das Goldblatt, nach der positiven und negativen Seite gleich stark angezogen, ruhig, so lange man ihm keine Electricität ertheilt; hat man ihm aber auch nur die schwächste Electricität durch Mittheilung oder Vertheilung zugeführt, so bewegt es sich schnell gegen den negativen Pol, wenn diese Electricität positiv war, und gegen den positiven Pol, wenn sie negativ war. Bringt man auf den Leiter C einen Condensator an, so dient dieses Electrometer, nach der Ladung des Condensators und dem Aufheben der obern Platte des Condensators, um die allerschwächsten Grade von Electricität kenntlich zu machen.

Bringt man die Leiter C, D (Fig. 38) einander ziemlich nahe, so ist es kaum möglich, das Goldblatt zur Ruhe zu bringen, weil, bei der geringsten Abweichung von der Mitte, es nach der nähern Seite, auch ohne von außen her elektrisirt zu seyn, angezogen wird, dann aber dort eine Ladung erhält und nach der andern Seite gezogen wird, wo dieselbe Ursache zu einem neuen Uebergange nach jener abermals eintritt. Auch wenn die Entfernung zwischen C, D groß genug ist, pflegt, wenn das Anschlagen an einer Seite statt gefunden hat, gern noch ein zweites an der andern zu erfolgen, daß aber das erste Anschlagen die Entscheidung giebt, ob die dem Goldplatte ertheilte Electricität positiv oder negativ war, versteht sich von selbst.

Verschiedene Apparate, um die voltaische Verstärkung der Berührungselectricität zu bewirken.

Ich habe bisher nur von derjenigen Schichtung der verschiedenen Plattenpaare, welche die Form der Säule giebt, geredet; aber da es nur darauf ankommt, die zwei Metalle abwechselnd mit einem feuchten Leiter in gleichmäßiger Ordnung in Wirksamkeit zu bringen, so sind mehrere andere Anordnungen möglich. Bei dem Aufbauen der Säule ist das eine Unbequemlichkeit, daß, vorzüglich wenn man etwas stärker gesäuertes und gesalzenes Wasser anwendet, schon während des Aufbauens, das bei größern Säulen nicht so schnell zu vollenden ist, eine starke chemische Wirkung auf die Metalle eintritt, wodurch die Platten Veränderungen erleiden, ferner daß die immer etwas ungleichen Papp- oder Tuchschichten keine genaue Gleichheit gestatten, daß das Austrocknen die dauernde Wirksamkeit der Säule hindert u. s. w. Schon Volta gab daher unter dem Namen *Becher-Apparat* eine Anordnung an, die in Folgendem besteht. Man stellt (XIV. Fig. 1) mehrere Gläser A, B, C, D auf, in deren erstes die mit dem Leitungsdrahte L versehene Kupferplatte K gesetzt wird; ihr gegenüber steht in demselben Glase die Zinkplatte Z, welche durch einen angelötheten Metalldraht M mit der zweiten Kupferplatte K verbunden ist; diese zweite Kupferplatte steht in einem zweiten Glase und hat eine zweite Zinkplatte gegenüber, und so geht es durch so viele Gläser, als man will,

fort. Werden nun alle Gläser mit einer leitenden Flüssigkeit gefüllt, so ist die voltaische Kette fertig.

Um die Erscheinungen bequem zu übersehen, nehme ich an, daß auch am letzten Leitungsdrahte *l* eine Kupferplatte *k* sich befinde; dann giebt *k* an die im Glase *D* stehende Zinkplatte wegen der metallischen Berührung die dem Zink zukommende positive Electricität, die ich als $+ 1$ ansehe. Ebendiese electricische Spannung wird durch die Flüssigkeit der in eben dem Glase *D* stehenden Kupferplatte mitgetheilt, diese aber kann nicht $+ 1$ an Electricität besitzen, ohne daß die mit ihr in metallischer Berührung stehende, in *C* eingetauchte Zinkplatte $+ 2$ an positiver Electricität habe; die Kupferplatte in *C* erhält durch die leitende Flüssigkeit auch $+ 2$, und kann nur dann eine Electricität von dieser Spannung enthalten, wenn die Zinkplatte im Glase *B* $+ 3$ hat; daß ebenso die Zinkplatte im Glase *A* $+ 4$ haben wird, erhellt von selbst. Wäre bei *K* keine Verbindung mit der Erde, so würde das Gesetz der Verstärkung dasselbe bleiben, nur würde dann am einen Ende negative, am andern Ende positive Spannung hervortreten.

Ganz dieser Anordnung ähnlich sind die Zellen- und Trog-Apparate, wo in einer Reihe getrennter einzelner Zellen die Plattenpaare aufgestellt sind. Sie müssen aus Holz, Porcellan oder Glas seyn, damit das gesäuerte Wasser jeder einzelnen Zelle durchaus nicht in leitender Verbindung mit dem Wasser einer andern Zelle stehe, weil offenbar, wenn in das Wasser einer Zelle mehrere Plattenpaare tauchten, diese alle nur einen und denselben Grad electricischer Ladung erhalten würden. Bei diesen Apparaten aber hat man, vorzüglich nach Schweigger's und Wollaston's Angabe, eine wesentliche Verbesserung angebracht, die bei den geschichteten, verticalen Säulen nicht statt findet. Es ist ein später noch näher zu untersuchender Erfahrungssatz, daß man mit Vortheil beiden Seiten der Zinkplatte Kupferplatten gegenüber stellen kann und daß die Wirkung dadurch ungefähr dieselbe wird, wie bei doppelt so vielen Plattenpaaren; wenn man daher entweder in jede Zelle eine Zinkplatte *Z* und eine dieselbe von beiden Seiten umgebende Kupferplatte *K* (XIV. Fig. 2) eintaucht, oder auch kupferne Gefäße *K*, *K'* so, wie Fig. 3 zeigt, neben einander stellt und in jedes Gefäß eine Zinkplatte taucht, dann aber die Verbindungen von *Z* nach *K'*, von *Z'* nach *K''*, von *Z''* nach *K'''* u. s. w. zu Stande bringt, so hat man einen Apparat, der sich vorzüglich gut zu Anstellung der Versuche eignet. In diesen Trogapparaten muß das Zink außerhalb der Flüssigkeit mit dem Kupfer in metallischer Berührung seyn, in der Flüssigkeit hingegen müssen die Platten nur einander gegenüber stehen, damit die electricischen Ströme durch die Flüssigkeit von der einen Platte zur andern übergehen. Aus diesem Grunde richtet man die Zinkplatten so ein, daß sie an der unmittelbaren Berührung gehindert werden; denn wenn (Fig. 2) *Z* nicht bloß mit *K'*, sondern auch mit *K* in metallischer Berührung wäre, so hätten *K* und *K'* gleiche electricische Ladung.

Da es uns jetzt nur um einen oft wiederholten Wechsel der drei die Kette

bildenden Körper zu thun ist, so übergehe ich hier noch diese Verbindung der Platten im Trogapparate, wo alle Platten gleich einem einzigen sehr großen Plattenpaare angewandt werden, wovon ich bei den Wärmeerscheinungen in der Schließung der Säule reden werde, ferner die Kasten-, Kapseln-, Schüssel-Apparate u. s. w. ¹

Geschlossene voltaische Säule.

Welche von diesen verschiedenen Anordnungen des Apparates man nun auch anwende, so ist der Zustand, sowohl in der ungeschlossenen Säule als in der geschlossenen, in allen diesen Apparaten übereinstimmend; beide Zustände aber sind sehr wesentlich verschieden. Alle bisherigen Betrachtungen betrafen nur die electricische Spannung, die electroscopischen Erscheinungen, welche bei der ungeschlossenen und isolirten Säule an beiden Polen um so stärker entgegengesetzt hervortreten, je größer die Anzahl der Plattenpaare ist; aber diese Kennzeichen der electricischen Spannung hören sogleich fast gänzlich auf bei der Schließung der Kette. Bringt man nämlich an dem Zinkpole der Säule einen Metalldraht an und bringt diesen mit dem Kupferpole in fortwährende Berührung, so muß offenbar (Fig. 4) die in Z angehäufte positive Electricität sich durch ZMK nach K fortbewegen, und da in dem Augenblicke, wo dadurch die unterste Kupferplatte in den Nullzustand versetzt wird, die nächste Zinkplatte wieder ihren Vorzug an positiver Electricität fordert, so geht der positiv-electrische Strom nicht allein von Z durch M nach K, sondern auch von K durch die Säule nach Z, so daß ein unaufhörlicher Kreislauf statt findet, und ebenso macht die negativ-electrische Materie ihren Kreislauf in entgegengesetzter Richtung in der geschlossenen Säule. Der Leiter ZMK heißt der Schließungsdraht, der schließende Leiter. Wird dieser die Enden der Säule verbindende Leiter nicht als metallischer Leiter ohne Unterbrechung fortgeführt, sondern der menschliche Körper als Theil dieses Leiters in die geschlossene Kette gebracht, so beobachten wir an der geschlossenen Säule die physiologischen Erscheinungen, welche der electricische Strom auf unsern Körper hervorbringt; macht ein flüssiger Körper einen Theil des Leiters ZMK aus, so giebt dieß Gelegenheit zu Beobachtung der chemischen Wirkungen; läßt man den electricischen Strom durch sehr dünne Drähte übergehen oder auch durch die Luft überschlagen, so erhält man die Erscheinungen der Erhitzung, des Verbrennens, der Funken. ²

Bei allen diesen Erscheinungen, welche die geschlossene Säule darbietet, können wir die Frage aufwerfen, wie sie von der Anzahl der Plattenpaare, wie sie von der Größe der Platten, wie sie von der ungleichen Wirksamkeit des feuchten Körpers in der Säule, endlich wie sie von der Beschaffenheit des die Schließung bewirkenden Leiters selbst abhängen. Eigentlich käme auch noch

¹ Die verticale Säule kommt jetzt nur noch selten in Anwendung.

² Nach Faraday's Vorgange nennt man die Pole als die Wege, durch welche der electricische Strom ein- und austritt, Electroden, den einen die positive, den andern die negative. (M.)

die Frage hinzu, wie sie von der Wahl der beiden verschiedenen Metalle abhängen, aber diese übergehe ich, da bei ganz gleicher Einwirkung des flüssigen Leiters die Wirksamkeit wohl genau dem Maasse der electromotorischen Thätigkeit angemessen seyn würde; ich werde daher auch fast immer nur von Zink und Kupfer, als den beiden in Anwendung gebrachten Metallen, reden, da schon aus dem Vorigen erhellt, daß Zink und Platin oder gar Zink und Manganoxyd noch wirksamer, Kupfer und Silber dagegen nur in sehr schwachem Grade wirksam seyn würden und folglich sich leicht auf die Wirkung jeder Säule schließen läßt, die aus diesen Körpern bestände. ¹

Constante Ketten.

Höchst bedeutende und wichtige Vorzüge besitzen die in neuerer Zeit in Aufnahme gekommenen sogenannten constanten Ketten, die sich durch das Gleichbleiben ihrer Wirkung auszeichnen, während bei allen bisher üblichen Apparaten aus Gründen, die erst später erklärt werden können, die Wirkung sehr schnell abnimmt. Eine constante, d. h. lange Zeit in fast ganz unverminderter Stärke fortbauende Wirkung wird dadurch erreicht, daß man auf beide Metalle statt einer Flüssigkeit zwei verschiedene Flüssigkeiten wirken läßt, welche durch eine poröse Scheidewand (von thierischer Blase, Pergament, Papier, Sprigenschlauch, unglasirtem Thon, Biscuitporcellan u. s. w.) getrennt sind, die zwar ihre Mischung, aber nicht ihre Berührung und den Durchgang des electricischen Stroms hindert. Auf das positive Zink läßt man, wie bisher, verdünnte Schwefelsäure wirken, auf das negative Metall aber, wenn es Kupfer ist, gewöhnlich eine Auflösung von Kupfervitriol. Als Erfinder dieser constanten Ketten wird Becquerel genannt, welcher einen hohlen Kupfercylinder mit einer durch concentrirte Kupfervitriolauflösung gefüllten Blase, diese aber mit einem hohlen Zinkcylinder umgab und beide in ein Gefäß von Glas oder Porcellan tauchte, das verdünnte Schwefelsäure oder eine Auflösung von Zinkvitriol oder Kochsalz erhielt. Zweckmäßiger hat man die Daniell'sche Batterie gefunden, die eigentlich nur eine Umkehrung der vorigen, aber ungleich bekannter geworden ist. Hier befindet sich der (massive oder hohle) Zinkcylinder innerhalb, der hohle Kupfercylinder außerhalb. Nach der jetzt gewöhnlichsten Construction besteht jedes Element (s. den Verticaldurchschnitt X. Fig. 5) aus einem cylindrischen Gehäuse a von Kupferblech oder irgend einem andern haltbaren Material, das oben eine Erweiterung hat. In dieses Gehäuse paßt ein zweiter völlig gerader, hohler Cylinder c von Kupferblech; in diesen kommt wieder ein von Blase oder Sprigenschlauch durch Umbinden um die Holzringe d, d gebildeter poröser Cylinder, endlich in diesen der Zinkcylinder e, der am besten ebenfalls hohl ist. Der poröse Cylinder wird mit verdünnter Schwefelsäure oder Kochsalzlösung, der Raum zwischen c und d aber mit concentrirter Kupfervitriolauflösung gefüllt; um die letztere stets gesättigt zu erhalten, befinden sich in der obern Erweiterung von a Kupfervitriolcrystalle,

¹ Das Zink wirkt besser, wenn es auf der Oberfläche etwas amalgamirt ist.

welche durch den durchlöchernten Ring bb zurückgehalten werden. Jeder Kupfer- und jeder Zinkcylinder ist mit einem angelötheten Drahte versehen, welcher oben ein Quecksilbernäpfschen f trägt; mittelst dieser Näpfschen wird durch eingetauchte, rechtwinkelig umbogene Drähte das Zink des einen mit dem Kupfer des folgenden Elements verbunden.

Grove hat an die Stelle des Kupfers Platin gesetzt, das sich in concentrirter Salpetersäure befindet (s. X. Fig. 6, welche den Durchschnitt eines Elements von der jetzt beliebten Form vorstellt). In dem Glasgefäße a steht der Zinkcylinder b, in diesem das poröse Thongefäß c, in diesem der Platincylinder d, dann folgt wieder ein poröses Gefäß e, in welchem der zweite Zinkcylinder f steht. Hier werden also beide Seiten des Platincylinders — was jedoch an sich unwesentlich ist — erregend benutzt. Zur Verbindung der Elemente dienen die mit Quecksilber gefüllten Näpfschen g; mittelst dieser verbindet ein Draht den äußeren und innern Zinkcylinder desselben Elements, ein anderer den äußeren Zinkcylinder dieses mit dem Platincylinder des folgenden Elements. Eine solche Batterie thut schon bei sehr wenigen Elementen große Wirkung, nur steht der hohe Preis des Platins ihrer Verbreitung im Wege, da die bloß platinirten Porcellancylinder ihren dünnen Platinüberzug sehr bald verlieren. Indes kann das Platin durch Kohle oder Eisen ersetzt werden, von denen erstere dem negativen Ende der Spannungsreihe noch näher steht, als Platin. Die von Bunsen angegebene Zinkkohlenbatterie besteht nach ihrer neuesten und besten Construction (X. Fig. 7) in einem Zinkcylinder, der in einem Glase a steht, selbst aber ein poröses Thongefäß c umschließt; in diesem steht, von concentrirter Salpetersäure umgeben, ein massiver Cylinder d, von einer Kohle, welche durch Glühen einer Mischung von fein pulverisirtem ausgeglühtem Coke und ebenfalls pulverisirter, möglichst backender Steinkohle erhalten wird. Der Raum zwischen a und c enthält verdünnte Schwefelsäure. Die Verbindung des Kohlencylinders mit dem Leitungsdrahte e wird durch einen Kupferring oder noch besser ein Platinhütchen hergestellt, die des Leitungsdrahts e mit dem vom Zinkcylinder des nächsten Elements aufsteigenden Drahte f durch eine Klemme g, doch läßt sich die so bequeme Verbindung durch Quecksilbernäpfschen und eingetauchte Drähte auch hier anbringen. Eine Batterie von 6 Elementen, deren Kohlencylinder 4 Zoll hoch und 1 bis 1½ Zoll dick sind, dürfte für die meisten Fälle ausreichen, ja für viele schon ein einziges Element. (Bei der ältesten Construction dieser Batterie war gar kein poröser Cylinder vorhanden, sondern in dem Zinkcylinder stand ein ausgehöhlter Kohlencylinder, in dessen mit Sand gefüllte Grube Salpetersäure gegossen wurde.) — Endlich hat Poggendorff eine Kette aus Gußeisen und Zink construirt, von denen erstere in Kalilauge stand.

Für alle später zu erwähnenden technischen Zwecke können keine andere als solche konstante Ketten angewandt werden. Die im Vorigen beschriebene concentrische Form ist für die technische Anwendung am bequemsten und billigsten; den damit verbundenen Nachtheil, daß die wirkende Fläche des innersten

Cylinders kleiner als die des äußern ist, kann man dadurch beseitigen, daß man dem inneren Cylinder einen sternförmigen Querschnitt giebt.

Physiologische Wirkungen.

Die Anordnung der Betrachtungen, welche sich auf die verschiedenen Wirkungen der Säule beziehen, hat einige Schwierigkeit, da die Betrachtung der einen Wirkung so nahe mit der Betrachtung der andern verwandt ist; ich muß Sie daher um Verzeihung bitten, wenn ich zuweilen eine Bemerkung mache, die erst später ihre volle Erklärung findet.

Die physiologischen Wirkungen waren es, die nach der Entdeckung der voltaischen Säule zuerst das Erstaunen der Physiker erregten, da man die früher beobachteten sehr schwachen Einwirkungen auf die Sinne hier in unerwartet starkem Maaße gesteigert sah. Schon früher, bald nach den ersten galvanischen Versuchen, hatte Volta auf zwei durch Silber und Zink vermittelte der einfachen galvanischen Kette hervorgehende Einwirkungen auf die Sinnesorgane aufmerksam gemacht. Man nimmt nämlich einen eigenthümlichen Geschmack auf der Zunge wahr, wenn man das eine Ende eines Silberstäbchens an die untere Seite der Zunge und das eine Ende eines Zinkstäbchens an die obere Seite der Zunge bringt, dann aber die beiden andern Enden der Metalle mit einander in Berührung bringt; und ebenso läßt das Auge uns die Wirkung des electricischen Stromes gewahr werden, wenn man jene beiden Metalle mit beiden Augenwinkeln in Berührung bringt, indem dann, wenn die beiden andern Enden der Metalle sich berühren, vor dem geschlossenen Auge eine schwache Lichterscheinung vorübergeht. Statt dieser Erscheinungen bietet aber die Säule nun viel stärkere und auffallendere dar.

Berührt man mit benetzten Fingern die beiden Pole einer Säule, die aus 50 oder mehr Plattenpaaren besteht, so empfindet man im Augenblicke der ersten Schließung der Kette einen bei kleinen Säulen bloß in den berührenden Fingern, bei größern Säulen auch bis zu entferntern Theilen der Hand und des Armes fühlbaren Schmerz, der auch während der dauernden Schließung, wegen der in jedem Augenblicke wechselnd mehr oder minder innigen Berührung, fort dauert. Die Empfindung ist, wenn man auch an beiden Polen auf ganz gleiche Weise berührt, ungleich an beiden Polen, und man hat diese Ungleichheit dadurch zu beschreiben gesucht, daß man sagte, die Empfindung am negativen Kupferpole sey so, als ob der Finger von der Seite her nach allen Richtungen schneidend durchdrungen werde, am positiven Zinkpole sey dagegen die Empfindung dumpfer, als ob der Finger eingeeengt sey. Ritter glaubt bei dauernder Schließung der Säule am negativen Pole das Gefühl der Kälte, am positiven Pole ein Gefühl von Wärme bemerkt zu haben; aber hierin stimmen andere Beobachter nicht ganz ein, und ich selbst, obgleich ich jene erste Beschreibung der Empfindung nicht unpassend finde, habe doch in Beziehung auf Wärme und Kälte keinen so entschiedenen Gegensatz finden können. Ritter fand hier überall genaue Gegensätze, theils in den

Sinneserscheinungen, welche beide Pole bei dem Schließen der Kette darbieten, theils in den Empfindungen, die an demselben Pole beim Schließen und Öffnen der Kette vorkommen; so streng kennlich scheinen mir diese Gegensätze nicht, obgleich wohl allerdings das richtig ist, daß beim Öffnen der Kette durch die Lebensthätigkeit der Organe das Gefühl eines Zustandes hervortritt, der sich als dem durch jenen unnatürlichen Reiz erregten entgegengesetzt der Empfindung darbietet. Auf der Zunge giebt der vom positiven Pole herkommende Draht einen sauern, stechenden Geschmack, der vom negativen Pole herkommende Draht einen alcalischen; über den Ursprung dieses Geschmacks aus der anfängenden Zersetzung der Feuchtigkeiten auf der Zunge geben die chemischen Erscheinungen noch mehr Aufschluß; daß aber beim Öffnen der Kette sich die entgegengesetzte Geschmacksempfindung wahrnehmen läßt, muß gewiß aus der eben erwähnten Gegenwirkung des Organs erklärt werden. Der Nictus vor dem Auge zeigt sich bei einer mäßigen Anzahl Plattenpaare schon deutlich, wenn man zwei von beiden Polen ausgehende Leiter an benetzte Stellen der Schläfe bringt.

Von Humboldt, Ritter, Most und Andre haben eine große Menge hierher gehöriger Versuche angestellt, die ich nicht weiter anführe, da für die Gesetze der electrischen Erscheinungen selbst wenig belehrende Folgerungen daraus hervorgehen. Merkwürdig scheint mir indeß der Beweis, den Mariani für den Satz, daß die Zuckung der Froschschenkel beim Wiederöffnen der Kette nicht von einem Zurückströmen der Electricität herrührt, aufgestellt hat. Allerdings nämlich zeigt der Froschschenkel auch beim Öffnen der Kette eine Zuckung, und dieses glaubte man durch ein Zurückströmen der Electricitätsströme erklären zu müssen; Mariani bemerkt aber, daß dieses Zucken fast ebenso eintrete, wenn man die Kette nicht unterbricht, sondern durch eine zweite Schließung den Strom bloß bei dem Frosche vorbei leitet; indeß gesteht er zu, daß vielleicht in den thierischen Theilen selbst einige angehäufte Electricität seyn könne, die beim Unterbrechen oder beim Vorbeileiten des Stromes eine eintretende Veränderung des electrischen Zustandes zur Folge haben kann.

Es gehörte wohl hieher, etwas von der Einwirkung des voltaischen Stromes und der Berührungsschläge auf die Gesundheit zu sagen; aber der Gegenstand scheint noch viel zu wenig erörtert, als daß man eine andere Regel als die, nur ja keine zu starken Wirkungen in irgend einem Falle anzuwenden, geben könnte. Ich gehe dagegen zu einigen Bemerkungen über die Ursachen dieser physiologischen Wirkungen und über die Umstände, welche ihre Stärke bestimmen, über.

Abhängigkeit der physiologischen Wirkungen von der Zahl und Größe der Platten und von der Leitung.

Um zuerst die unerwartete Verschiedenheit zu erklären, die sich zwischen der Säule und der gewöhnlichen Electricität darin zeigt, daß jene bei kaum bemerkbarer electroscopischer Einwirkung doch so empfindliche Schläge giebt, scheint folgende Bemerkung am meisten geeignet. Es ist bekannt, daß man die

größte Batterie an einer Electrifirmaschine nicht stärker — ja kaum so stark — laden, das ist, das Electrometer nicht zu höherem Steigen bringen kann, als eine kleinere Flasche, und dennoch kann die Wirkung jener furchtbar seyn, während die Wirkung dieser geringfügig ist; wir sehen also, daß es bei der Empfindung, die der gewöhnliche electrische Schlag erregt, nicht auf die Spannung allein, mit welcher die Electricität überzugehen strebt, sondern auch ganz vorzüglich auf die Menge der in einem sehr kurzen Zeitraume übergehenden Electricität ankommt, daß also eine sehr große Batterie nur zu einem sehr schwachen Grade geladen zu seyn brauchte, um die empfindlichsten Schläge zu geben. Diese Bemerkung leitet zu dem Schlusse, daß die Menge der electrischen Materien, welche sich in einer gut aufgebauten, die Leitung der Electricität stark befördernden Säule durch diese fortbewegt, ungemein groß seyn muß, und hierauf bezieht sich Volta's Vergleichung der electrischen Säule mit einer unendlich großen, aber sehr schwach geladenen Batterie. Die feuchte Säule ist, so lange sie sich in völliger Wirksamkeit befindet, so sehr geeignet, den unausgesetztesten und lebhaftesten electrischen Strom hervorzubringen, daß sie uns in jedem Augenblicke einen neuen Stoß giebt, und also so wirkt, wie eine sehr große, sich immer wieder ladende Batterie. Da die trockene Säule eine viel zu träge Durchleitung der electrischen Ströme gestattet, so kann sie eben so wenig als eine so ungemein schwach geladene und dabei kleine Flasche auf das Gefühl wirken.

Daß aber mit vermehrter Spannung auch die physiologischen Wirkungen zunehmen, das heißt, daß Säulen aus vielen Plattenpaaren wirksamer seyn müssen, versteht sich wohl von selbst, und wirklich nimmt auch, wie es scheint unbegrenzt, die Stärke der Schläge mit der Anzahl der Plattenpaare zu. In genauem Verhältnisse mit der Anzahl der Plattenpaare kann indes die Wirkung wohl nicht stehen, weil bei vielplattigen Säulen auch der Widerstand offenbar zunimmt, den der electrische Strom leidet; aber wenn deshalb auch nicht bei 500 Plattenpaaren die ohnehin schwer abzumessende physiologische Wirkung 5mal so groß als bei 100 Plattenpaaren ist, so ist die Zunahme der Wirkung dennoch groß genug. Der Widerstand ist viel geringer, wenn die feuchten Leiter nicht aus Wasser allein, sondern aus mehr oder minder starken Auflösungen von Salz, am liebsten noch verbunden mit Säuren, bestehen, und es ist daher natürlich, daß die physiologischen Wirkungen durch die Wahl solcher feuchter Leiter sehr gesteigert werden.

Man hat eine Zeit lang in dem Irrthume gestanden, daß große Platten bei gleicher Anzahl keine stärkere Schläge geben, als kleine; aber es ist offenbar, daß der durch 10 Quadrat Zoll Oberfläche bewirkte electrische Strom zehnmal so mächtig, als der durch 1 Quadrat Zoll bewirkte seyn muß, daß also großplattige Säulen, wenn zugleich der Platten viele sind, ganz gewiß wirksamer seyn müssen. Jener Irrthum entstand daher, daß man die Pole der Säule so berührte, daß in der Schließung selbst zu viel Widerstand war und die in hinreichendem Reichthum vorhandene electrische Materie doch nur einen

minder raschen Strom bilden konnte. Wenn man beide Enden einer sehr großplattigen Säule mit einem sehr dünnen Drahte berühren wollte, so würde der electriche Strom genau so aufgehalten werden, wie der Wasserstrom, der durch ein einziges Haarröhrchen hervordringt; bei diesem bewirkt ein höherer Wasserstand, bei jenem ein höherer Spannungsgrad der Electricität (eine Vermehrung der Plattenpaare) eine Zunahme der Geschwindigkeit, aber die Größe des Wasservorraths hilft dort so wenig als hier die Größe der Platten. Eben diese gehinderte Leitung findet statt, wenn man mit unvollkommen befeuchteten Händen oder nur mit der Fingerspitze berührend die Electricität aufnimmt, und in diesen Fällen ist es also wahr, daß großplattige Säulen ohne Nutzen angewendet werden; wenn man dagegen mit großen Metallstücken, die man mit der nassen Hand recht umfaßt, die Pole der Säule berührt, oder wenn man die Hände in zwei mit gesäuertem Wasser gefüllten Gefäßen untertaucht, und starke Leiter von beiden Polen der Säule in beide Gefäße taucht und abwechselnd wieder zurückzieht, so bemerkt man den Vorzug der großplattigen Säulen.

Obgleich aber der vermehrte Widerstand in den die Schließung bewirkenden Leitern so sehr zu Verminderung der Wirkung beiträgt, so kann man doch auch den Schlag der voltaischen Säule durch viele Personen, die sich mit nassen Händen anfassen, durchleiten, wobei freilich der Schlag an Stärke verliert. Auch durch andere lange Leiter wird doch der Schlag nicht allzu sehr geschwächt, und Erman hat auf der Havel den Schlag durch 130 Fuß Draht und 130 Fuß Wasser nur wenig geschwächt empfunden, als er den einen Pol der Säule mit dem Wasser in Verbindung setzte, den andern mit einem langen Drahte versah, und dann isolirt in 130 Fuß Entfernung stehend den Draht und das Wasser zugleich berührte. Busse hat eine ähnliche Leitung 4000 Fuß weit angebracht.

Die Größe des Widerstandes bei der Hinüberleitung zum menschlichen Körper ist auch gewiß die Ursache, warum Säulen aus wenigen Plattenpaaren gar keine Empfindung geben, wenn auch die Platten noch so groß sind. Es ist nämlich eine gewisse Spannung (man darf wohl die, welche 20 bis 30 Plattenpaaren Zink und Kupfer bei einer Befechtung der Zwischenschichten mit gesäuertem Wasser entspricht, als die durchaus erforderliche ansehen) nothwendig, um irgend eine Wirkung, die man electriche Schlag nennen könnte, hervorzubringen, indem bei geringerer Spannung die Electricität den Widerstand beim Uebergange auf den menschlichen Körper gar nicht zu überwinden vermag.

Säulen von 200 bis 250 Plattenpaaren geben bei Berührung mit nassen Händen eine recht empfindliche Wirkung, zumal wenn sie mit stark gesäuertem oder gesalzenem Wasser aufgebaut sind. Gay-Lüffac fand bei einer Säule von 600 Plattenpaaren, jede Platte 120 Quadrat Zoll groß, wo zur Befechtung der Zwischenlagen Wasser mit $\frac{1}{10}$ Salzsäure und $\frac{1}{70}$ Schwefelsäure angewandt wurde, die Schläge mit nassen Händen kaum erträglich. Grimm

tödtete mit einer Säule von 500 Plattenpaaren einen Bergfinken, indem er ihn 25 Minuten lang dem Strome der Kette aussetzte. Säulen von 2000 Plattenpaaren geben, selbst mit trockenen Händen angefaßt, Schläge, die kaum zu ertragen sind und durch 50 Personen, die sich mit trockenen Händen anfassen, fühlbar bleiben.

Die electricischen Fische.

Ähnliche Wirkungen, wie diese, welche die electricische Säule hervorbringt, wahrscheinlich auch auf ähnlichen Gesetzen beruhend, hat man schon lange an den electricischen Fischen gekannt, ja einer derselben, der Zitterrochen, ist schon den Alten bekannt gewesen. Diese Fische, unter denen der im mittelländischen Meere und im atlantischen Ocean lebende Zitter- oder Krampfrochen, der in den Landseen von Südamerica lebende Zitteraal oder surinamische Aal und der in den africanischen Flüssen (Nil, Niger u. s. w.) vorkommende Zitterwels am bekanntesten sind, besitzen die Kraft, electricische Schläge zu ertheilen; und da sich in ihnen ein sonst nirgends vorkommendes Organ findet, das aus Schichtungen, die der voltaischen Säule ähnlich sind, besteht, so vermuthen wir nicht ohne Grund, daß ihre electricische Wirksamkeit auf ähnlichen Gesetzen, wie die der Säule, beruhe. Freilich sind es hier nicht Schichtungen von solchen Körpern, deren electromotorische Thätigkeit wir nachweisen könnten, sondern es sind Häute und Flüssigkeiten, so wie wir sie sonst im thierischen Körper finden; aber die zu diesem Organe gehenden starken Nerven mögen hier die Ladung desselben bewirken. Dieses Organ besteht bei dem Zitterrochen aus runden oder polygonalen Säulchen, die, aus Häuten, zwischen denen sich eine Flüssigkeit befindet, zusammengesetzt, von der unteren Seite des Körpers bis an die obere reichen und deren jedes aus einer Menge auf einander geschichteter, durch klebrige Schleimschichten von einander getrennter, feiner Blättchen besteht; es stehen viele dieser Säulen (gewöhnlich 400—500) neben einander, so daß man bei großen Rochen über 1000 (bei einem $4\frac{1}{2}$ Fuß langen 1184) gezählt hat. (S. X. Fig. 8.) Bei dem Zitteraale liegt das Organ in dem sehr langen Schwanz und nimmt drei Viertel der oft bis auf 6 Fuß gehenden Länge des Fisches ein; es gleicht in seiner geschichteten Bildung dem Organe des Zitterrochen, nur laufen die Säulchen hier in der Richtung des Schwanzes fort.¹

Diese Fische besitzen die Fähigkeit, nach Willkür Schläge, den electricischen ähnlich, zu geben; Volta vergleicht die des Rochen mit den Schlägen einer voltaischen Säule von 60 Plattenpaaren, die Schläge der Aale müssen aber weit heftiger seyn, da sie Pferde durch Berührung am Bauche so empfindlich verletzen können, daß diese niederstürzen. Daß diese Schläge von den Fischen willkürlich ertheilt werden, erhellt daraus, daß man den Fisch in den Händen halten kann, ohne einen Schlag zu erhalten, daß er mancherlei Bewegungen

¹ Die ersten genauen Untersuchungen über die electricischen Wirkungen beider Fische, besonders des Zitterrochen's, hat Walsh im J. 1774 angestellt. (M.)

machen kann, ohne einen Schlag zu erteilen, daß er dagegen diesen unter ganz gleichen Umständen zuweilen plötzlich und oft wiederholt (bis 50mal in einer Minute) erteilt.

Befindet sich der Zitterrochen in der Luft, so erhält man einen Schlag, wenn man irgend einen Theil seiner Haut direct oder mit einem guten Leiter berührt. Wenn man ihn nur an einer Seite berührt, so erhält man nur matte Schläge, stärkere dagegen, wenn man beide Seiten berührt. Liegt der Fisch auf einer metallenen Schüssel, so hat man vom Schläge nichts zu fürchten, wenn man bloß die Schüssel berührt; aber wenn man diese berührt und zugleich die obere Seite, so kann man den Schlag vollkommen stark erhalten. Dagegen wenn die obere Seite mit einer Metallplatte bedeckt ist, welche mit jener Schüssel in metallisch leitender Verbindung steht, so kann man beide Metallplatten berühren, ohne die Wirkung des Schläges zu empfinden; es erhellt also, daß der Leiter für die Electricität hier eine ebenso gegen die Schläge sichere Schließung bewirkt, wie es bei der Schließung der voltaischen Säule der Fall ist, deren electricischer Strom durch einen Metalldraht hinreichende Ableitung findet. Der Schlag wird mehreren (bis 20) Personen zugleich erteilt, wenn sie, sich bei den Händen fassend, die Schließung, welche von der oberen Seite nach der untern geht, bilden. Im Wasser sind die Schläge immer schwächer als in der Luft, doch hat man beobachtet, daß der Zitterrochen bis auf einige Entfernung kleine Fische durch seinen Schlag tödtet oder wenigstens betäubt. — Der Zitteraal, dessen electricische Kraft noch viel größer ist, giebt im Wasser seinen Schlag bis zu bedeutenden Entfernungen.

Der Zitterrochen muß ein eigenthümliches Gefühl für die Leitung, die den Schlag möglich macht, haben, wenigstens scheint dieß aus folgendem, von Walsh angestellten Versuche zu erhellen. Walsh führte zwei Metalldrähte aus dem Gefäße mit Wasser, worin der Fisch sich befand, zu zwei andern mit Wasser gefüllten Gefäßen; waren nun die letztern durch Leiter verbunden, so kam der Fisch gern zu den Metalldrähten heran, um den Schlag zu erteilen, aber er zeigte keine Neigung, den Schlag zu erteilen, wenn diese Leitung unterbrochen war.

Der Schlag geht so schwer durch den geringsten mit Luft gefüllten Zwischenraum über, daß man fast durchaus keinen Funken sieht; nur wenn die Unterbrechung des leitenden Metalles äußerst gering ist, kann man im Dunkeln den Funken erkennen. Die hier wirksame Electricität ist also von äußerst geringer Spannung, so daß jedes Hinderniß der Leitung den Uebergang vollkommen aufhält; da sie aber dennoch so mächtig wirkt, so muß die Menge der in Thätigkeit gesetzten Electricität wohl sehr groß seyn.

Am Electrometer oder mit Hülfe des Condensators kann man gewöhnlich keine Spur von Electricität gewahr werden, ohne Zweifel deswegen, weil hier keine dauernde Ladung, sondern nur eine plötzliche Erzeugung von Electricität statt findet, und weil der Fisch keine Electricität hervorbringt, wenn,

wie es beim Condensator geschehen muß, die Leitung unterbrochen ist.¹ Eben diese nur momentane Erregung der Electricität, wobei aber die Menge der in Bewegung gesetzten electricischen Materie sehr groß ist, mag auch, wie H. Davy glaubt, die Ursache seyn, warum der electricische Schlag des Zitterrochens in der Regel keine electromagnetischen, so wenig als chemische Wirkungen zeigt. Es ist jedoch J. Davy gelungen, mittelst der Electricität des Zitterrochens die Magnetnadel abzulenken, Stahlnadeln zu magnetisiren und chemische Wirkungen hervorzubringen, so daß die Identität jener mit der Reibungs- und Berührungselectricität erwiesen ist.

Neunundsechzigste Vorlesung.

In der Reihe neuer Entdeckungen, zu welchen Volta's Säule Veranlassung gegeben hat, nehmen diejenigen, welche die chemischen Wirkungen betreffen, einen vorzüglichsten Platz ein, und so wie wir es neulich sehr belehrend fanden, Volta bei jedem einzelnen Fortschritte seiner Entdeckungen zu folgen, so werden wir hier vorzüglich Davy's philosophischen Sinn in der Wahl des richtigen Weges zu neuen Entdeckungen zu bewundern haben.

Wasserzersehung durch die voltaische Säule.

Doch nicht Davy, sondern Carlisle und Nicholson waren die ersten, welche eine chemische Wirkung der Säule wahrnahmen und die ersten Untersuchungen darüber anstellten. Sie bemerkten in einem auf der letzten positiven Platte der Säule liegenden Wassertropfen ein Entstehen von Bläschen, als der die Schließung der Säule bewirkende Draht den Wassertropfen berührte; die damals schon lange bekannte Erfahrung von der bei so manchen Veranlassungen statt findenden Wasserzersehung schlen ihnen die Erklärung der Erscheinung darzubieten, die auch bald in fernern Versuchen ihre völlige Bestätigung fand. Um diese Wasserzersehung und ebenso andere chemische Wirkungen in Flüssigkeiten hervorzubringen, bedient man sich oft nur der einfachen Glasröhre EF (XIV. Fig. 5), in welcher die Spitzen der von beiden Polen der

¹ In der neuesten Zeit will der Vater Santsi Anari gefunden haben, daß der Zitterrochen an einem Strohhalmelectrometer eine Divergenz hervorbringen kann. Die Strohhalm divergirten mit positiver Electricität, wenn der den Fisch mit der Collectorplatte des Condensators verbindende Draht mit dem Rücken, dagegen mit negativer, wenn er mit dem Bauch des Fisches in Berührung gestanden hatte. Dagegen konnte Colladon mit einem sorgfältig gearbeiteten Condensator und Goldblattelecrometer am Zitterrochen keine Spur von Electricität erhalten. Schon Becquerel und Freschet hatten gefunden, daß der positive Strom immer vom Rücken zum Bauch geht. Ferner haben Anari und Matteucci durch die Electricität der Zitterrochen deutlich sichtbare Funken erhalten und Faraday hat überdies durch dieselbe Drähte erhitzt. (M.)