

Ueber den secundären Widerstand, ein durch den Strom bewirktes Widerstandsphänomen an feuchten porösen Körpern.

(Gelesen in der Gesamtsitzung der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 20. December 1860.)¹

§. 1. Einleitung.

In meiner ersten Mittheilung über innere Polarisation poröser, mit Elektrolyten getränkter Halbleiter² habe ich zweifelhaft gelassen, ob diese Polarisation im Kreise der Säule selber, die sie hervorrief, mit gewöhnlichen Hilfsmitteln bemerkt werden könne. Ich hatte damals besondere Beobachtungen über den Gang des ursprünglichen Stromes während des Polarisirens, nach dem Entladen u. s. f. noch nicht angestellt. Meist hielt ich den Strom nicht länger geschlossen als nöthig war um zu entscheiden, ob der ihm ausgesetzte feuchte poröse Körper innere Polarisation in bemerkbarem Grade annehme oder nicht, wozu wenige Minuten ausreichten. Auch befand sich im ursprünglichen Kreise, zur Aufsicht über die Säule, nur ein Vertical-Galvanoskop von SIEMENS und HALSKE, wie sie in Telegraphenbureaus angewendet werden. Allein mir war unter diesen Umständen bereits eine räthselhafte Erscheinung aufgestossen, die zu weiteren Nachforschungen aufforderte. Es zeigte sich nämlich häufig, bei Gegenwart der innerlich polarisirbaren Körper im Kreise, dass der ursprüngliche Strom, trotz den sorgfältigsten Vorkehrungen, nicht beständig blieb. Sobald ich die Kette irgend länger geschlossen liess, sank die Ablenkung an dem Vertical-Galvanoskop um einen oft sehr ansehnlichen Bruchtheil, näherte sich aber wieder ihrem ursprünglichen Werthe, wenn die Kette einige Zeit offen gehalten wurde. Die Schwächung des Stromes, die bei längerer Schliess- [847] ung eintrat, war meist viel zu beträchtlich, um sie auf die elektromotorische Gegenkraft der inneren Polarisation

¹ Monatsberichte u. s. w. 1860. S. 816; — Auch abgedruckt in MOLESCHOTT'S Untersuchungen u. s. w. 1862. Bd. VIII. S. 354.

² S. oben S. 13. Abh. II.

beziehen zu können, wollte man nicht dieser Kraft, während der Dauer des ursprünglichen Stromes, eine beispiellose Grösse, und nach dessen Aufhören, eine ebenso beipiellose Flüchtigkeit beimessen. Und doch war nichts leichter, als sich davon zu überzeugen, dass die Unbeständigkeit des Stromes allein von Gegenwart der feuchten porösen Körper im Kreise herrührte. Wurden die mit gesättigter schwefelsaurer Kupferoxydlösung gefüllten Zuleitungsgefässe, worin die Kupferelektroden der Säule tauchten, unmittelbar durch ein mit derselben Lösung gefülltes Schliessungsrohr, oder die mit jener Lösung getränkten Zuleitungsbäusche durch einen eben solchen Schliessungsbausch verbunden, so sah man die Nadel, so lange und so genau als nur zu erwarten war, auf dem Theilstrich verharren, auf den sie sich nach ihren ersten Schwingungen eingestellt hatte.

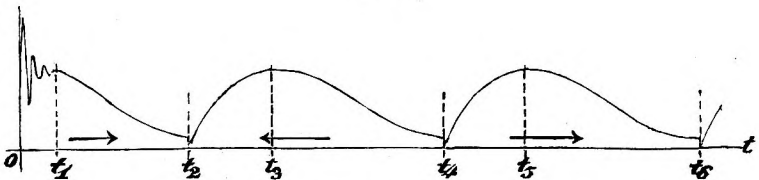
Um diesen Umstand aufzuklären und um zugleich der inneren Polarisation in dem ursprünglichen Kreise selber nachzugehen, wurde jetzt in diesen Kreis, anstatt des Vertical-Galvanoskops, die früher¹ erwähnte WIEDEMANN'sche Bussole mit magnetischem Spiegel, dämpfender Kupferhülse und verschiebbaren Rollen aufgenommen. Diese Art von Bussolen eignet sich, der darin stattfindenden starken Dämpfung halber, ganz besonders dazu, den Gang eines unbeständigen Stromes zu verfolgen, während der grosse Spielraum ihrer Empfindlichkeit hier gleichfalls von Nutzen wird. Auch ist gelegentlich von grossem Vortheil, dass man beiderseits vom Spiegel eine Rolle, ja, wenn man will, mehrere Rollen hintereinander anbringen, und so, ohne das Auge vom Fernrohr zu wenden, mittels einer passenden Schaltung abwechselnd den Strömungsvorgang in zweien, beziehlich mehreren Kreisen überwachen kann. Die Bussole war bei diesen Versuchen gewöhnlich mit nur wenigen Windungen (53 oder 106) versehen. Ein POHL'scher Stromwender wurde ferner so angebracht, dass er die Richtung des Stromes in den Zuleitungsgefässen und den dazwischen befindlichen feuchten porösen Körpern umkehrte, während sie in der Bussole die- [848] selbe blieb. Er war an den Tisch befestigt, und seine Wippe drehte sich, wie stets an meinen Stromwendern, um eine feste Achse, so dass die Zeit zwischen dem Oeffnen des Stromes in der einen und dessen erneutem Schliessen in der anderen Richtung nicht nur durch passende Anfüllung der Quecksilbernäpfe, sondern auch durch rasche Bewegung der Wippe möglichst klein gemacht werden konnte. Bei der langen Dauer vieler der folgenden Versuche war es nothwendig, sich überzeugen zu können, dass die Säule an sich beständig geblieben sei. Dies geschah mit Hülfe einer Schaltung, welche an Stelle der Zuleitungsgefässe und des zwischen ihnen befindlichen feuchten porösen

¹ S. oben, Abh. IV. S. 49.

Körpers, einen solchen metallischen Widerstand in den Kreis der Säule und der Bussole und zugleich eine solche Nebenschliessung zu letzterer anbrachte, dass die Ablenkung eine angemessene Grösse besass.

Mit diesen vollkommeneren Mitteln bestätigte ich nun zunächst die Thatsache, dass bei Abwesenheit eines feuchten porösen Körpers im Kreise, wenn entweder die Bäusche einander berührten, oder ein Schliessungsrohr die Zuleitungsgefässe verband, der Strom ganz beständig blieb. Nicht nur sank die Ablenkung nicht, auch bei noch so langer Dauer der Schliessung, innerhalb der durch die Natur der Dinge gesteckten Grenzen, sondern man sah sie anfangs sogar bis zu einem gewissen Punkte wachsen, unstreitig in Folge der mit der Hand fühlbaren Erwärmung des Schliessungs-Rohres oder -Bausches. Wurde die Wippe umgelegt, so sah man den Spiegel um ein paar Scalentheile zurückweichen, und dann äusserst nahe wieder seine vorige Stellung einnehmen. Kupfer in gesättigter schwefelsaurer Kupferoxydlösung ist zwar der Polarisation nicht ganz unfähig;¹ allein diese Polarisation ist doch kleiner, als dass der

Fig. 4.



daraus entspringende Zuwachs an elektromotorischer Kraft in den ersten Augenblicken nach der Umkehr des Stromes in den Zuleitungsgefässen, selbst bei nur Einer GROVE'schen Kette im Kreise, vermocht hätte, den Ausfall an ablenkenden Kräften während des Umlegens der Wippe zu decken, geschweige zu über- [849] wiegen.

Um die Erscheinung, um die es sich im Folgenden handeln wird, sofort in deutlichster Ausprägung und in ihrer ganzen Grösse kennen zu lernen, denke man sich jetzt zwischen die Zuleitungsbäusche ein Prisma aus hart gesottenem Eiweiss² von den üblichen Maassen³ gebracht, und eine zwanziggliedrige GROVE'sche Säule dadurch geschlossen. Fig. 4 ist bestimmt, den Gang der Erscheinungen unter diesen Umständen zu ver-

¹ S. oben, Abh. IV. S. 56.

² Ich verschaffe mir ein solches, indem ich Eiweiss in geölten Reagirgläsern im Wasserbade zum Gerinnen bringe, den Boden des Glases zertrümmere, und den Eiweisscylinder mittelst eines Stempels ausstosse. (Vgl. oben Abh. II. S. 22. 23.)

³ S. oben, Abh. II. S. 17.

sinnlichen. Die Abscissenaxe Ot stellt darin die Zeit vor, die Ordinaten bedeuten in Scalentheilen ausgedrückte, der Stromstärke proportionale Spiegelablenkungen.

Bei der Abscisse Null wird die Kette geschlossen. Nachdem der Spiegel sich beruhigt hat, erscheint die Ablenkung in den ersten Augenblicken manchmal beständig, anderemale wächst sie sogar, meist jedoch findet man sie sogleich im Sinken begriffen. Dies Sinken ist entweder anfangs noch langsam, und wird erst mit der Zeit geschwinder, oder es geht gleich von vorn herein mit reissender Schnelle vor sich. Allmählich indess wird in allen Fällen das Sinken langsamer, und endlich, oft erst nach 10—20 und noch mehr Minuten ist eine beständige Ablenkung erreicht. Jetzt ist von der ursprünglichen Stromstärke, wie man sie aus dem ersten Hin- und Hergang des Scalenbildes folgern kann, oft nicht mehr als der zehnte Theil übrig, wie man bei t_2 in der Figur ungefähr sieht.

Wird nun die Wippe umgelegt, wie der Pfeil in der Figur andeutet, so könnte man erwarten, einen mächtigen Aus- [850] schlag erfolgen zu sehen, da es scheint als habe sich in dem Kreise eine bedeutende elektromotorische Gegenkraft entwickelt. Man sagt sich indessen schon, wie unwahrscheinlich es sei, dass diese in einer 50^{mm} langen Strecke geronnenen Eiweisses der Kraft von achtzehn GROVE'schen Gliedern gleichkommen solle. Der Versuch liefert denn auch ein ganz anderes Ergebniss. Man beobachtet nämlich im Augenblick des Umlegens nur einen kleinen negativen Ausschlag, der von dem Ausfall an ablenkenden Kräften während des Umlegens herrührt (s. die Figur bei t_2). Von der inneren Polarisation wird also, trotz der langen Dauer der Durchströmung, nichts bemerkbar, was sich leicht erklärt, wenn man die grosse elektromotorische Kraft der Säule erwägt. Unmittelbar darauf aber ist die Ablenkung in langsamem Wachsen begriffen, der Art, dass, wenn die ursprüngliche Ablenkung einige Hundert Scalentheile betrug, in der Secunde anfangs etwa 10, zuletzt nur noch in der Minute so viel Scalentheile am Faden vorbeiziehen. In Folge dieses Wachsens erreicht die Ablenkung bei t_3 zuletzt ungefähr die nämliche Grösse wieder, die sie bei t_1 , unmittelbar nach der ersten Schliessung des Kreises, besass. Allein abermals verweilt sie nur einen Augenblick auf dieser Höhe. Sofort beginnt das Sinken von Neuem, und findet zuerst langsam, dann schnell, dann wieder langsam statt, bis abermals die Ablenkung (bei t_4) einen unteren Grenzwert erreicht hat, wo denn abermaliges Umlegen abermals langsames Wachsen der Stromstärke hervorruft. Und so kann man, so oft als die Natur der Dinge es zulässt, diesen Wechsel der Erscheinungen beobachten.

Ihre nähere Ursache ist nicht schwer anzugeben. Was das in einigen

Fällen anfänglich bemerkbare Steigen der Ablenkung betrifft, welches sich andere Male nur als eine Verzögerung des bald überhand nehmenden Sinkens kundgiebt, so ist es wohl einerlei mit dem Steigen, welches man auch ohne das Eiweissprisma, beim Schliessen des Kreises durch ein mit der Kupferlösung gefülltes Rohr, wahrnimmt, d. h. es ist auf die Verminderung des Widerstandes der Elektrolyte durch Erwärmung zu schieben. Das darauf folgende Sinken aber, die Erscheinung also, die uns ursprünglich aufgefallen ist, kann von nichts herrühren, als von einem Widerstand, den der Strom in [851] der einen Richtung in dem Eiweiss entwickelt und den der Strom in der anderen Richtung wieder aufhebt. Dies folgt unwiderleglich aus der Wirkung des Umlegens der Wippe. Jenes so höchst sonderbare langsame Wiederaanwachsen der Stromstärke lässt sich nur auf diese Art begreifen, während, wie schon bemerkt, der Erfolg im Fall einer elektromotorischen Gegenkraft, die den Grund des Sinkens enthielte, ein ganz anderer sein müsste.

Wir wollen diesen durch den Strom erzeugten Widerstand der Kürze halber den secundären Widerstand nennen, womit gar nichts über seine weitere Ursache ausgesagt, sondern nur sein Auftreten unter denselben Umständen angedeutet wird, unter welchen in manchen feuchten porösen Körpern secundär-elektromotorische Kräfte entstehen. Man begreift, von welcher Wichtigkeit diese Erscheinung im Gebiete der Elektrophysiologie werden kann, da sie, unter gewissen Voraussetzungen, die Möglichkeit beständiger Ströme in den thierisch-elektrischen und in den elektrischen Reiz-Versuchen ausschliessen würde. Ich habe mich daher genöthigt gesehen, wie schon die Polarisation an der Grenze der Elektrolyte und die innere Polarisation der feuchten porösen Halbleiter, auch noch den secundären Widerstand, soweit es für diesen Zweck erforderlich war, zu ergründen: ein Geschäft, welches sich leider als eines der schwierigsten und, wegen der Dauer und Einförmigkeit der Versuche, auch der mühseligsten unter allen erwies, die mir im Lauf meiner Untersuchungen zugefallen sind. Nur die praktische Bedeutung der schliesslich hier aufgedeckten, an sich sehr unscheinbaren Thatsachen für die Elektrophysiologie kann mich mit den Opfern an Zeit und an Arbeitskraft, die ich diesem widerspenstigen Gegenstande habe bringen müssen, etwas aussöhnen.

§. II. Von den feuchten porösen Körpern, welche secundären Widerstand zeigen.

Wir beginnen damit, uns eine Uebersicht über die feuchten porösen Körper zu verschaffen, die den secundären Widerstand zeigen. Den zu untersuchenden Körpern wurde die Ge- [852] stalt eines Prisma's, wo

es anging, von den schon erwähnten Maassen (s. oben S. 17) ertheilt. Dies Prisma wurde zwischen die mit schwefelsaurer Kupferoxydlösung getränkten Zuleitungsbäusche gebracht, und von Grundfläche zu Grundfläche dem Strome der zwanziggliederigen GROVE'schen Säule ausgesetzt. Auf die Fähigkeit der Substanz, secundären Widerstand anzunehmen, wurde stets erst geschlossen, wenn das charakteristische langsame Wachsen der Stromstärke nach dem Umlegen der Wippe mindestens einmal bei jeder Richtung des Stromes beobachtet worden war.

Der Gesichtspunkt, der sich hier für die Untersuchung darbietet, ist der, ob sich eine Beziehung feststellen lasse zwischen der Empfänglichkeit der Körper für den secundären Widerstand und der für die innere Polarisation, oder ob die beiden Erscheinungen ganz gleichgültig neben einander her gehen. Wir schliessen uns demgemäss, bei der jetzt vorzunehmenden Musterung feuchter poröser Körper, der Reihenfolge an, welche sich uns bei Erforschung der inneren Polarisation an die Hand gegeben hat. Gleich beim ersten Schritte findet sich, dass zwischen dem secundären Widerstande und der inneren Polarisation vermuthlich gar kein Verhältniss besteht.

I. Unorganische Körper. Kreide und Bimsstein zwar, lange in destillirtem Wasser gesotten, zeigten den secundären Widerstand spurweise. Modellirthon dagegen, welcher gleichfalls innerlich polarisierbar ist, liess nichts davon wahrnehmen, wie lange auch Stäbe von den verschiedensten Maassverhältnissen dem Strom ausgesetzt blieben. Quarzsand oder Schwefelblumen, mit Wasser zu einem Brei angemacht, geben keine innere Polarisation, und können grundsätzlich keine geben, weil das Verhältniss der Leitungsfähigkeit des porösen Gerüsts zu der des Elektrolyten ein zu ungünstiges ist. Dies gilt namentlich für den Schwefelbrei, der lebhaft sauer (von Schwefelsäure) reagirte, und deshalb auch sehr viel besser leitete als das Wasser, womit er angerieben wurde. Dennoch liessen diese Körper, in Röhren gestopft, deutlich secundären Widerstand erkennen. Ja der Quarzsand fuhr fort dies zu thun, selbst als ich ihn, statt [853] mit Wasser, mit verdünnter Schwefelsäure¹ zu einem Brei anrührte. Hingegen mit einem Brei aus dem geschlämmten Sande der Königl. Porzellan-Manufactur² und destillirtem Wasser ward kein secundärer Widerstand beobachtet.

II. Organische, nicht organisirte Körper. Gleich dem hartgesottenen Eiweiss, von dem bereits die Rede war, verhielt sich auch der durch Schlagen des Rinderblutes erhaltene Faserstoff, und der Blutkuchen

¹ $\text{SO}_4 \text{ H} : \text{HO} :: 1 : 19$ und $:: 1 : 8$ dem Volum nach.

² S. oben, Abh. II. S. 18.

vom nämlichen Thiere, sowie erstarrter Leim, dieser jedoch nur in gewissen Fällen, deren Bedingungen mir nicht klar geworden sind. Blutkuchen und Leim hatten keine innere Polarisation gegeben. Auch die Speckhaut von Pferdeblut zeigte secundären Widerstand.

Ein sonderbares Verhalten war das der Seife. Um regelmässige Stromwirkungen durch Seife hindurch zu erzielen, ward es nöthig, Bögen daraus zu schnitzen und deren Enden in die Kupferlösung der Zuleitungsfässer zu tauchen. Beim Einklemmen von Prismen aus Seife zwischen die Zuleitungsbäusche entstanden nämlich stets Störungen, durch, wie es schien, sprungweise Veränderung des Widerstandes der Berührungsstellen der Seife mit den Bäuschen. Bei der angegebenen Anordnung sieht man die Stromstärke schnell um einen sehr ansehnlichen Bruchtheil abnehmen. Legt man die Wippe um, so erfolgt ein positiver Ausschlag, so lebhaft als ob es sich um Polarisation handelte, und ohne dass sich danach langsames Wachsen einstellte. Man hat sich also wohl vorzustellen, dass unter dem Einfluss des umgekehrten Stromes der secundäre Widerstand der Seife in einem Zeitraum schwinde, der kleiner ist als die Schwingungsdauer des Spiegels, da man der inneren Polarisation der Seife im ursprünglichen Kreise nur ungern die elektromotorische Kraft von vielen GROVE'schen Gliedern, und zugleich eine solche Flüchtigkeit zuschreiben wird, dass daraus erklärlich würde, weshalb nach Entfernung aus dem ursprünglichen Kreise die Seife keine ungewöhnlich starke innere Polarisation zeigt. [854]

III. Organisirte Pflanzentheile. Prismen geschnitten aus Kartoffeln, Mohrrüben, Petersilienwurzeln, Aepfeln, Birnen, der saftige Stiel von Begonien, zeigten die Erscheinung in sehr ausgesprochener Weise. Minder schön trat sie an gesottene Hölzern, Eichen-, Kien-, Mahagony-Holz, hervor, und noch weniger deutlich an einem in vollem Saft stehenden holzigen Zweige des Zuckerahorns, obschon solche Zweige gerade die heftigste innere Polarisation geben, die sich denn auch hier wirklich im ursprünglichen Kreise durch einen kleinen positiven Ausschlag beim Umlagen der Wippe bemerklich machte.

Mit destillirtem oder mit Brunnen-Wasser getränkte balkenförmige Fliesspapierbäusche nehmen secundären Widerstand in geringem Grade an. Tränkt man solche Bäusche mit der gesättigten Lösung von schwefelsaurem Zinkoxyd, schwefelsaurem Natron, Alaun, Chlornatrium, Chlorammonium, Quecksilberchlorid, oder mit käuflicher Kalihydratlösung, so wird auch beim längsten Durchströmen und bei irgend welchen Maassverhältnissen der Bäusche kein secundärer Widerstand bemerkbar, so wenig als wären sie mit der Kupferlösung der Zuleitungsbäusche selber getränkt (s. oben S. 81). Denselben Gegensatz im Verhalten des

Fliesspapiers, je nachdem es mit Wasser oder mit dergleichen Lösungen getränkt wird, haben wir in Bezug auf innere Polarisation beobachtet. Allein diese Uebereinstimmung ist nicht durchgreifend. Tränkt man nämlich das Fliesspapier mit verdünnter Schwefel- oder Salpetersäure, wodurch es jede Spur innerer Polarisirbarkeit einbüsst, so ist der secundäre Widerstand gleichwohl sehr deutlich wahrnehmbar. Ausnehmend stark erscheint er beim Tränken des Papiers mit neutraler chromsaurer Kalilösung, wobei an der Grenze der Kupferlösung ein brauner Niederschlag, wie mir Hr. RAMMELSBURG sagt, von basisch chromsaurem Kupferoxyd entsteht.

IV. Thierische Gewebe. Die Versuche wurden an frischen Gewebetheilen von Rindern oder Kälbern angestellt. Als Vertreter des Knochengewebes bei Versuchen dieser Art ist am bequemsten ein Stück Rippe, des Knorpelgewebes ein Stück Rippenknorpel, des Sehngewebes eine der Beugesehen an der Mittelhand, des elastischen Gewebes das Nackenband, der Nerven ein Stück Rückenmark. Ausserdem wurden geprüft [855] Streifen der Haut und prismatische Stücke Muskelfleisch, letztere sowohl roh als gekocht, und sowohl in der Faserrichtung als senkrecht darauf. Alle diese Theile zeigen die oben am hartgesottenen Eiweiss beobachteten Erscheinungen auf's Deutlichste ausgeprägt und im grössten Maassstabe; mit Ausnahme des Knochens, der nur dann eine sichere Spur secundären Widerstandes zu entfalten scheint, wenn er ein mehr schwammiges Gefüge besitzt.

Diese Versuchsreihe genügt um zweierlei darzuthun, 1. dass die Fähigkeit, secundären Widerstand anzunehmen, den feuchten porösen Körpern sehr allgemein zukomme, 2. dass, wie schon bemerkt, keine Beziehung zwischen ihr und der inneren Polarisation obwalte.

§. III. Vom äusseren secundären Widerstande.

Wir wollen jetzt den Versuch machen, in die Natur des secundären Widerstandes etwas tiefer einzudringen. Im Folgenden sollen, der Kürze halber, die Hälfte und das Ende des feuchten porösen Körpers, wo der Strom, ferner der Bausch, durch den er eintritt, die Eintrittshälfte, das Eintrittsende, der Eintrittsbausch, die entsprechenden Theile der anderen Seite die Austrittshälfte, das Austrittsende, der Austrittsbausch genannt werden.

Es bietet sich vor Allem die Frage dar, wo der Sitz des secundären Widerstandes sei. Ist es, was jetzt kaum wahrscheinlich dünkt, wie bei der inneren Polarisation, jeder durchströmte Querschnitt des porösen Körpers? Oder sind es nicht vielmehr, wie bei der Polarisation an der

Grenze ungleichartiger Elektrolyte, die Berührungsstellen dieses Körpers mit den Zuleitungsbäuschen?

Es ist, wenigstens in allen von mir geprüften Fällen, leicht sich zu überzeugen, dass das letztere, wenn auch vielleicht nicht ausschliesslich, doch in überwiegendem Maasse stattfindet, und dass namentlich das Eintrittsende unstreitig den bei weitem grössten Theil des secundären Widerstandes beherberge. Hat man den secundären Widerstand z. B. in einem Eiweissprisma (s. oben S. 82) sich entwickeln lassen, schneidet man das Prisma in der Mitte quer durch, und prüft man [856] die beiden Hälften einzeln auf ihren Widerstand, so zeigt die Eintrittshälfte einen viel grösseren Widerstand als die Austrittshälfte. Schneidet man von dem Austrittsende ein Stück von einigen Millimetern Länge ab, während das Eintrittsende an dem entsprechenden Bausch möglichst unverrückt liegen bleibt, so bleibt die Stromstärke nahe dieselbe. Sie erscheint nur vorübergehend sowohl als dauernd etwas gewachsen, das erstere, weil während der zum Abschneiden erforderlichen Zeit ein geringer Theil des secundären Widerstandes sich zerstreut hat, das letztere wegen der Verkürzung des Eiweissprisma's, als des am meisten widerstehenden Theiles des Kreises. Schneidet man aber ein gleich langes Stück vom Eintrittsende ab, so erreicht die Stromstärke plötzlich ihre ursprüngliche Grösse ungefähr wieder, und es ist klar, dass der hauptsächlichste Theil des secundären Widerstandes beseitigt ist, denn das Sinken beginnt von Neuem ganz als ob der Kreis zum erstenmal geschlossen würde, oder als ob der secundäre Widerstand in Folge des Umlegens der Wippe geschwunden wäre. Sogar wenn wirklich in Folge des Umlegens der Wippe der secundäre Widerstand vollständig aufgehoben scheint und das Sinken eben wieder beginnen will, erhält man durch Abschneiden des Eintrittsendes noch eine ansehnliche Verstärkung des Stromes. Bringt man, an Stelle des vom Eintrittsende befreiten Prisma's, dies abgeschnittene Ende selber zwischen die Zuleitungsbäusche, so zeigt sich, dass es den Strom fast ebenso sehr schwächt, als das ganze noch damit versehene Prisma that. Dass durch die blossе Berührung der Zuleitungsbäusche mit den Enden des Prisma's ohne Mitwirkung des Stromes, nichts dem secundären Widerstände Aehnliches herbeigeführt werde, versteht sich aus mehrfachen Gründen von selbst, und wird durch die Erfahrung bestätigt.

Hat man, anstatt den Grundflächen des Eiweissprisma's die Zuleitungsbäusche, zweien Punkten der Seitenflächen des Prisma's Keilbäusche¹

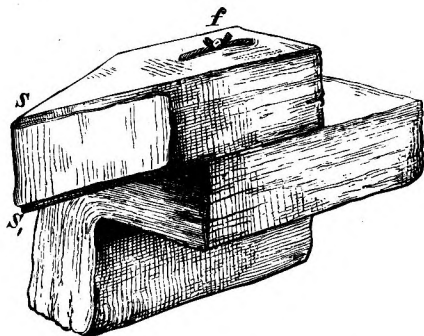
¹ Die Keilbäusche haben schon in früheren Mittheilungen (S. oben Abh. II. S. 15; — Abh. III. S. 34) eine ansehnliche Rolle gespielt, und ihre Bedeutung in dieser Abhandlung und in einigen folgenden wird so gross, dass ich nicht länger

angelegt, und rückt man, nach entwickel- [857] tem secundären Widerstande, den Austrittsbausch von der Stelle, so findet keine bemerkenswerthe Veränderung der Stromstärke statt. Dagegen erscheint der secundäre Widerstand alsbald beseitigt, und das Sinken beginnt von Neuem, wenn man den Eintrittsbausch einer neuen Stelle anlegt. Innerhalb gewisser Grenzen, die von dem Verhältniss des Widerstandes der Eiweissstrecke zwischen den Keilbäuschen zum Widerstande des übrigen Kreises abhängen, ist es dabei gleichgültig, ob die neue Stelle, der man den Aus- oder Eintrittsbausch anlegt, nach aussen oder nach innen liegt, d. h. ob man die Eiweissstrecke zwischen den Keilbäuschen verlängert oder verkürzt.

Durch ähnliche Versuche habe ich mich überzeugt, dass auch beim Leim und der Seife; beim Knorpel, der Haut und dem Muskelfleisch des Rindes; beim Gewebe der Kartoffel und der Birne; endlich bei den mit verdünnter Schwefelsäure oder [858] mit gesättigter chromsaurer Kalilösung getränkten Bäuschen das Eintrittsende der vornehmste Sitz des secundären Widerstandes ist. Es kann sich also nur noch darum handeln, ob, wie es oft den Anschein hat, hier wirklich der ganze secundäre Widerstand hause, so dass er nur ein äusserer sein würde, oder ob ein Theil davon vielleicht auch noch über das Innere des feuchten porösen Körpers verbreitet sei.

zögern darf, sie dem Leser zu versinnlichen. Man sieht in Fig. 5 einen Keilbausch einem gewöhnlichen Zuleitungsbausch aufsitzen. Er ist daran befestigt mittels eines

Fig. 5.



Fadens, den man in *f* unterscheidet, und der durch zwei den Keil- und Zuleitungsbausch durchbohrende Löcher geführt ist. Die etwa 15mm lange Schneide des Keilbausches *ss*, ist mit einem Eiweisshäutchen bekleidet vorgestellt. Damit dies in der dadurch bedingten scharfen Krümmung verharre, muss es den Seiten des Keils in einiger Länge anhaften. Ich pflege die Eiweisshäutchen für diesen Zweck 40mm lang zu schneiden.

§. IV. Vom inneren secundären Widerstande.

Um hierüber zu entscheiden, wollen wir uns zunächst an zwei dergleichen Körper heften, welche beide den Vortheil bieten, dass man sie sich jederzeit leicht von wesentlich gleicher Beschaffenheit und in passender Gestalt verschaffen kann; an das hartgesottene Eiweiss, welches uns schon vorher als Typus eines des secundären Widerstandes fähigen Körpers gedient hat, und an das Gewebe der Kartoffel. Letzteres kommt zwar dem Eiweiss an secundärem Widerstande nicht gleich, da die Stärke des Stromes damit nur auf etwa $\frac{1}{3}$ ihres ursprünglichen Werthes sinkt; die Folge wird aber lehren, dass die Wahl eines Pflanzengewebes als zweiten Vertreters der mit secundärem Widerstande behafteten Körper hier von besonderer Bedeutung ist.

Ich verfuhr nunmehr folgendermaassen. Den Seiten des wie gewöhnlich von Grundfläche zu Grundfläche durchströmten Prisma's legte ich mit gesättigter schwefelsaurer Zinkoxydlösung getränkte und mit doppelten Eiweisshäutchen bekleidete Keilbäusche in solcher Entfernung von den Enden an, dass der besondere Vorgang, dessen Sitz das Eintrittsende ist (s. unten §. VII), sich nicht bis zwischen ihre Schneiden erstreckte. Die Keilbäusche sassen den mit der nämlichen Flüssigkeit getränkten Zuleitungsbäuschen eines Paares meiner neuen Zuleitungsgefässe aus verquicktem Zink¹ auf, welche mit einer DANIELL'schen Kette verbunden waren. Die GROVE'sche Säule soll hinfort die Hauptkette, ihr Strom der Hauptstrom, dessen Kreis der Hauptkreis, die DANIELL'sche Kette die Hülfskette, ihr Strom der Hülfsstrom, dessen Kreis der Hülfskreis heissen. [859] In dem Kreise der Hauptkette befand sich die eine, in dem der Hülfskette die andere der beiden verschiebbaren Rollen der WIEDEMANN'schen Busssole, beide in passendem Abstände vom Spiegel, letztere gemeiniglich von 3000, manchmal von 6000 Windungen. Ich beobachtete nun zuerst bei offener Hauptkette die Stärke des Hülfsstromes bei dem ursprünglichen Zustande des Eiweisses oder des Kartoffelgewebes. Dann schloss ich, bei geöffneter Hülfskette, die Hauptkette, liess den secundären Widerstand sich entwickeln, und beobachtete abermals, bei geöffneter Hauptkette, die Stärke des Hülfsstromes. Dann legte ich die Wippe des Hauptstromes um, liess den secundären Widerstand, unter dem Einfluss der neuen Stromrichtung, sich zerstreuen, öffnete die Hauptkette im Augenblick, wo das Sinken sich wieder einstellte, las abermals die Stärke des Hülfsstromes ab, u. s. f. Mit einem Worte, ich

¹ Vergl. oben, Abh. IV. S. 76. Sie sollen nächstens beschrieben und abgebildet werden. (S. unten, Abh. VIII. §. III.)

prüfte jedesmal mittels des durch das Prisma, mit Ausschluss des Eintrittsendes, hindurchgesandten Stromes der Hülfskette, die Veränderungen des Widerstandes, welche etwa darin durch den Hauptstrom hervorgerufen waren.

Bei dieser Versuchsweise zeigt sich, dass der Hülfsstrom, in kleinerem Maassstabe zwar, jedoch vollkommen regelmässig und deutlich, die Schwankungen mitmacht, denen der Hauptstrom unterliegt. Ist der Hauptstrom, in Folge der Entwicklung des secundären Widerstandes, gesunken, so ist auch der Hülfsstrom klein; hat der Hauptstrom, in Folge der Zerstreuung des secundären Widerstandes durch den umgekehrten Strom, seine ursprüngliche Grösse wieder erreicht, so ist auch der Hülfsstrom gross. Es hat also den Anschein, als gebe es, ausser dem an dem Eintrittsende sich entwickelnden äusseren secundären Widerstande, wirklich noch einen inneren secundären Widerstand, der seinen Sitz in jedem durchströmten Querschnitt des Prisma's habe. Es fragt sich indess noch, ob es nicht möglich sei, diesen inneren secundären Widerstand auf bereits bekannte Ursachen zurückzuführen.

Vor Allem sei bemerkt, dass nicht daran zu denken ist, die Schwankungen des Hülfsstromes abzuleiten vom Hereinbrechen eines Theiles des Hauptstromes in den Hülfskreis, während der Hülfsstrom beobachtet wurde. Ein solches Hereinbrechen wurde unmöglich gemacht durch die Anordnung, die ich in der Ab- [860] handlung über Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte¹ beschrieben und schematisch abgebildet habe, indem nämlich eine Wippe den einen Kreis, während sie den anderen schloss, an zwei passend gelegenen Stellen zugleich unterbrach.

Ebensowenig ist daran zu denken, dass der Hauptstrom, indem er an den Keilbäuschen der Hülfskette vorüberfloss und sich vielleicht schleifenförmig in sie hineinbog, an den Berührungsstellen der Keilbäusche mit dem Prisma äusseren secundären Widerstand entwickelt habe. Diesem Einwand zu begegnen, wurde das Eiweiss- oder Kartoffelprisma an einem Glasstabe wagerecht schwebend² zwischen zweien Paaren von Keilbäuschen aufgestellt, deren eines dem Haupt-, das andere dem Hülfskreise angehörte. Der Abstand zwischen dem einen und dem anderen Paare von Keilbäuschen war grösser als der wagerechte Durchmesser des Prisma's. Indem das Prisma in wagerechter Ebene senkrecht auf seine Axe hin- und herbewegt wurde, konnte es abwechselnd dem einen und dem anderen

¹ S. oben, Abh. I. S. 2 ff.

² Im Fall des Eiweisses war der Glasstab in der Axe des Reagirglases befestigt worden, in welchem das Eiweiss gerann.

Paare von Keilbäuschen angelegt werden. Auch so zeigten sich die den Schwankungen des Hauptstromes entsprechenden Schwankungen des Hilfsstromes, obschon jetzt der Hauptstrom die Keilbäusche der Hilfskette gar nicht mehr berührte.

Dann könnte man versucht sein, um die Schwankungen des Hilfsstromes zu erklären, an die innere Polarisation zu denken, deren elektromotorische Kraft im Kreise der Hilfskette (eines einzigen Daniells) nicht mehr als verschwindend anzusehen sei. Diese Deutung setzt voraus, dass Haupt- und Hilfsstrom einerlei Richtung im Prisma haben, da sonst die durch den Hauptstrom bewirkte innere Polarisation, anstatt den Hilfsstrom zu schwächen, sich vielmehr zu ihm hinzufügen würde. Es zeigt sich aber, dass die Schwankungen des Hilfsstromes bei jeder Richtung des letzteren in Bezug auf den Hauptstrom nahe gleich stark ausfallen. Allerdings erhält man in den ersten Augenblicken nach Oeffnung des Haupt- und Schliessung des Hilfskreises einige Scalentheile mehr Ablenkung, wenn man [861] das Prisma so in den Hilfskreis bringt, dass der Hilfsstrom darin ebenso fliesst, wie vorher der Hauptstrom; im anderen Falle einige Scalentheile weniger. Diese Erscheinung ist unzweifelhaft auf Rechnung der inneren Polarisation zu bringen, allein im Vergleich mit den Schwankungen des Hilfsstromes, von denen hier die Rede ist, kommt sie nicht in Betracht.

Es giebt nun noch eine vierte Ursache, auf die man diese Schwankungen zurückführen kann. Dies ist die Wärmeentwicklung durch den Hauptstrom. Es ist klar, dass je stärker der Hauptstrom ist, um so wärmer wird das Eiweiss- oder Kartoffelprisma, um so besser muss es leiten. Umgekehrt, je mehr sich der Hauptstrom durch Entwicklung secundären Widerstandes geschwächt hat, um so kälter wird das Prisma, und um so grösser folglich dessen Widerstand. Es kann sich nur darum handeln, ob diese Ursache ausreiche, um die beobachteten Schwankungen des Hilfsstromes zu erklären, oder nicht.

Um hierüber Gewissheit zu erlangen, steckte ich in ein in das Eiweissprisma senkrecht auf seine Axe gebohrtes Loch den schlanken cylindrischen Behälter eines für Beobachtungen über thierische Wärme bestimmten, in Zehntel Grade C. getheilten Thermometers, und las durch eine BRÜCKE'sche Arbeitslupe die durch den Strom bewirkte Temperaturerhöhung ab. Sie belief sich im Ganzen auf etwa 10° , und die Temperaturschwankungen, welche den Schwankungen des Hauptstromes entsprachen, auf volle 6° .

Sodann erwärmte ich ein Eiweissprisma von dem gewöhnlichen Querschnitt in einem Reagirglase bis zu einer Temperatur, welche die höchste im vorigen Versuche durch den Strom erreichte um mehrere

Grade übertraf, und brachte dann das Prisma in Berührung mit den im gewöhnlichen Abstände von einander befindlichen Keilbäuschen der Hilfskette. Während das in dem Prisma steckende Thermometer abwärts das Temperatur-Intervall durchlief, welches den im vorigen Versuch durch den Strom bewirkten Temperaturschwankungen entsprach, wuchs der Widerstand des Eiweisses, nach der Stärke des Hilfsstromes bemessen, um ebensoviel, als wenn der Hauptstrom das Eiweissprisma lange genug durchkreist, um sich auf's Aeusserste zu schwächen. [862]

Diese Versuche laufen, wie man sieht, darauf hinaus, die Annahme eines besonderen inneren secundären Widerstandes im Eiweiss unnöthig zu machen. Nicht so was das Gewebe der Kartoffel betrifft. Dies leitet nämlich ausserordentlich viel schlechter als das hartgesottene Eiweiss. In Folge davon erreicht der Hauptstrom im Kartoffelprisma eine viel geringere Stärke als im Eiweissprisma, und die Temperaturerhöhung im ersteren ist so gering, dass sie oft gar nicht bemerkbar wird, und jedenfalls nicht in Betracht kommt. Gleichwohl fallen die den Schwankungen des Hauptstromes entsprechenden Schwankungen des Hilfsstromes in der Kartoffel nicht kleiner, sondern, im Vergleich zu den ersteren, sogar noch grösser aus als im Eiweiss. Wir haben also noch immer Grund, im Kartoffelprisma einen inneren secundären Widerstand anzunehmen. Doch scheint es wünschenswerth, dessen Dasein noch auf anderem Wege gegen den Verdacht zu sichern, als handele es sich dabei um Temperaturschwankungen. Die folgenden Ermittlungen erfüllen diesen Zweck.

Betrachtet man genauer die den Schwankungen des Hauptstromes entsprechenden Schwankungen des Hilfsstromes im Falle des Eiweisses und in dem des Kartoffelgewebes, so zeigt sich bald ein wesentlicher Unterschied. Bei dem Eiweiss nämlich liegen die kleinsten Werthe der Hilfsstromstärke, die man beobachtet; wenn der Hauptstrom im Eiweiss durch Entwicklung des secundären Widerstandes seine unterste Grenze erreicht hat, niemals unter, sondern stets noch über dem ursprünglichen Werthe der Hilfsstromstärke, den man vor jeder Einwirkung des Hauptstromes erhielt. Der Hauptstrom bringt also im Eiweiss keine absolute Verminderung der Leitungsfähigkeit hervor. Die Verminderung ist vielmehr nur relativ, d. h. sie stellt sich als solche dar im Vergleich zu der Vermehrung der Leitungsfähigkeit, welche der Strom in seiner vollen, durch den secundären Widerstand ungeschwächten Grösse thermisch erzeugt. Anders bei dem Kartoffelgewebe. Hier liegen jene kleinsten Werthe der Hilfsstromstärke unter dem ursprünglichen, es hat also eine wirkliche Verminderung der Leitungsfähigkeit durch den Hauptstrom stattgefunden, welche nie die Folge der thermischen Wirkung sein kann.

Diese absolute [863] Verminderung der Hilfsstromstärke kann sich bis auf $\frac{1}{5}$ ihres ursprünglichen Werthes belaufen.

Beobachtet man den Gang der Hilfsstromstärke unmittelbar nachdem man den auf's Aeusserste geschwächten Hauptstrom geöffnet hat, so giebt sich abermals zwischen den Erscheinungen, die das Eiweiss, und denen, die das Kartoffelgewebe bietet, ein bedeutsamer Unterschied zu erkennen. Beim Eiweiss ist nämlich die Hilfsstromstärke im Sinken begriffen, unstreitig, weil, wie das Thermometer bekundet, das Eiweiss kälter wird. Wie schwach auch der Strom geworden war, immer erhielt er das Eiweiss doch noch auf einer höheren Temperatur, als ihm sonst zukommen würde. Beim Kartoffelgewebe beobachtet man im Gegentheil, dass die Hilfsstromstärke nach Unterbrechung des Hauptstromes ziemlich rasch wächst. Dies kann von nichts herrühren, als davon, dass ein durch den Hauptstrom entwickelter innerer secundärer Widerstand anfängt sich zu zerstreuen, sobald der Hauptstrom aufhört. Der Hauptstrom selber erscheint in beiden Fällen nach dem Offenstehen seines Kreises etwas verstärkt, bei dem Eiweiss darum, weil auch der äussere secundäre Widerstand sich sofort, obschon viel langsamer, zu zerstreuen beginnt, wenn der Strom aufhört, der ihn hervorrief.

Um nun auch den Einfluss der Stromumkehr auf den inneren secundären Widerstand zu erforschen, dient folgender Kunstgriff. Man denke sich ein Eiweiss- und ein Kartoffel-Prisma durch zwei möglichst senkrecht auf die Axe geführte Schnitte in drei Stücke getheilt, von denen das mittlere das längste ist, sodann die drei Stücke wieder genau zusammengefügt, und zwischen den Zuleitungsbäuschen des Hauptstromes dergestalt angebracht, dass man das Mittelstück herausnehmen kann, ohne dass die Endstücke an den Bäuschen verschoben werden. Der Hauptstrom wird bis zur äussersten Schwächung durch den äusseren secundären Widerstand hindurchgeschickt. Dann wird so rasch wie möglich das Mittelstück herausgenommen, in verkehrter Lage wieder eingesetzt, und der Erfolg am Fernrohr beobachtet. Mit dem Eiweiss ist dieser Erfolg nichtig; der Faden stellt sich, wenn der Versuch gut gelingt, sobald die unvermeidlichen Schwankungen wegen Oeffnens und Wiederschliessens der Kette vorüber sind, fast genau auf den Theilstrich wieder ein, auf dem [864] er sich vor dem Umkehren des Mittelstückes befand. Mit dem Kartoffelgewebe hingegen zeigt sich die Ablenkung, wenn der Spiegel zur Ruhe gekommen ist, im langsamen Wachsen begriffen, und dies lässt sich sogar in Fällen beobachten, wo ein in dem Mittelstück steckendes Thermometer aus anderen Gründen sinkt, nicht steigt. Das langsame Wachsen hat eine Grenze, bei welcher angelangt die Stromstärke einige Augenblicke beständig bleibt, und dann wieder zu sinken beginnt, ganz, nur in

kleinerem Maassstabe, als ob es sich um den äusseren secundären Widerstand handelte. Wird das Mittelstück nur herausgenommen und wieder eingesetzt ohne umgekehrt zu werden, so ereignet sich nichts der Art.

Nach diesen Versuchen ist es als ausgemacht anzusehen, dass das Kartoffelgewebe wirklich inneren secundären Widerstand besitzt. Vom Eiweiss hätte man bis zum letzten Versuche noch glauben können, dass die durch thermische Wirkung darin erzeugten Hilfsstromschwankungen vielleicht auch noch solche Schwankungen in sich bürden, die auf innerem secundären Widerstande beruhten. Nach diesem Versuch aber steht es fest, dass dem Eiweiss keine nachweisbare Spur inneren secundären Widerstandes zukommt. Zwar lässt sich dagegen noch einwenden, dass wir, der Natur der Sache nach, das Eiweiss auf den inneren secundären Widerstand nur haben prüfen können mittels eines Stromes, der durch den äusseren secundären Widerstand um den grössten Theil seiner Stärke gebracht war. Allein die Folge wird uns Mittel an die Hand geben, diesen Einwand zu beseitigen, wie auch den inneren secundären Widerstand des Kartoffelgewebes noch auf einem vierten Wege darzuthun (s. unten, §. XI).

Wir werden dergestalt auf die Aufgabe geführt, zu ermitteln, welche unter den feuchten porösen Körpern, die wir oben als des secundären Widerstandes überhaupt fähig erkannt haben, neben dem äusseren secundären Widerstande, der ihnen allen in grösserem oder geringerem Grade zuzukommen scheint, auch noch gleich dem Kartoffelgewebe inneren secundären Widerstand besitzen. Das Ergebniss dieser Prüfung hat etwas Befremdendes. Ich habe nämlich den inneren secundären Widerstand bisher nur an frischen Pflanzengewebetheilen, an [865] Stücken Kartoffel, Mohrrübe, Petersilienwurzel, Begoniastiel, Apfel, Birne, nachweisen können. Hält man Kartoffeln oder Begoniastiele zehn Minuten lang in siedendem Wasser, so leiten sie sehr viel besser, haben aber die Fähigkeit, inneren secundären Widerstand anzunehmen, eingebüsst. Was die anderen feuchten porösen Körper betrifft, so habe ich ausser dem Eiweiss auf diese Fähigkeit vergeblich untersucht folgende Vertreter der vier Klassen: Kreide und Bimsstein; Seife; Stäbe aus Eichen- und Weissbuchenholz, Bäusche aus Fliesspapier und Streifen Pappe, sämmtlich mit Wasser getränkt; endlich Muskelfleisch, in der Faserrichtung und senkrecht darauf durchströmt, Rückenmark, Sehnen- und elastisches Gewebe, Haut und Knorpel vom Rinde. Sieht man von der Seife ab, an der sich aus gewissen Gründen nicht mit der Hilfskette experimentiren lässt, so findet bei keinem dieser Körper eine absolute Verminderung der Hilfsstromstärke in Folge des Durchganges des Hauptstromes, oder ein Ansteigen derselben in Folge des Oeffnens der Säule statt. Die Hölzer nehmen eine so starke

Polarisation an, dass der Hilfsstrom dadurch, je nach der Richtung des Hauptstromes, ansehnlich verstärkt oder geschwächt wurde. (Vergl. oben S. 92.) Diese in raschem Sinken begriffene Polarisation setzt der Bestimmung des Widerstandes der Hölzer nach dem Durchgang des Hauptstromes grosse Schwierigkeiten entgegen. Es gelingt jedoch auszumachen, dass der Widerstand nicht vermehrt, sondern, unstreitig durch thermische Wirkung des Hauptstromes, vermindert ist. Bei den porösen Körpern unorganischen Ursprungs, Kreide und Bimsstein, habe ich mich auf die Beobachtung jener beiden Merkmale der Abwesenheit des inneren secundären Widerstandes beschränken müssen. Hier ist somit noch die Möglichkeit da, dass eine Spur inneren secundären Widerstandes durch die thermische Wirkung des Hauptstromes verdeckt wurde. Was aber die übrigen so eben genannten feuchten porösen Körper, die Hölzer, die Pappe, insbesondere die thierischen Gewebe betrifft, so habe ich damit noch den zuletzt angegebenen Umkehrversuch angestellt, und dabei nie langsames Wachsen gesehen. Ebenso wenig war dies der Fall bei der Seife, wo nur dieser Versuch angestellt werden konnte. Von diesen Körpern können wir also mit derselben Gewissheit wie vom Eiweiss sa- [866] gen, dass sie keine Erscheinung zeigen, welche zur Annahme eines inneren secundären Widerstandes zwänge.

§. V. Nähere Untersuchung des inneren secundären Widerstandes.

Abgesehen davon, dass wir noch nicht wissen, ob nicht die noch im Besitz ihrer Lebenseigenschaften verharrenden thierischen Gewebe des inneren secundären Widerstandes fähig sind, erscheint dieser an sich als ein Phänomen von hinlänglicher Bedeutung, um ein etwas näheres Eingehen darauf an dieser Stelle zu rechtfertigen.

Zunächst versuchte ich zu erfahren, ob sich dieser Widerstand auch kundgeben würde, wenn man den Hilfsstrom, statt dem Hauptstrom parallel, senkrecht darauf durch das Pflanzengewebe leitete. Zu diesem Zwecke stanzte ich mittels eines Blechdeckels kreisrunde Scheiben aus einer durch zwei parallele Ebenen begrenzten Kartoffelschnitte, und zeichnete darauf mit Tinte vier einander unter 45° schneidende Durchmesser. Dem Endpunkte eines dieser Durchmesser legte ich die Keilbäusche der Hauptkette an, die der Hilfsbäusche folgeweise den Endpunkten der drei anderen Durchmesser. Kleiner als 45° oder grösser als 135° liess sich der Winkel zwischen beiden Strömen nicht machen, weil über diese Grenzen hinaus kein Platz für die Zuleitungsgefässe, welche die Keilbäusche trugen, übrig blieb. Innerhalb dieser Grenzen aber erwies sich

die absolute Verminderung des Hilfsstromes in Folge der Einwirkung des Hauptstromes als gleich gross, es mochte nun der Hilfsstrom den Hauptstrom senkrecht, oder unter einem Winkel von 45° oder von 135° schneiden. Demnach scheint es als sei der innere secundäre Widerstand unabhängig von der Richtung des Stromes, der ihn hervorrief.

Dann wollte ich wissen, wie dieser Widerstand im Inneren des Kartoffelprisma's vertheilt sei; ob er in allen Querschnitten des Prisma's gleich gross gefunden werde, oder ob er vielleicht vom Eintrittsende nach dem Austrittsende zu abnehme, was so zu deuten gewesen wäre, dass der innere secundäre Widerstand eine in der Richtung des Stromes in den feuchten porösen Körper hineinragende Fortsetzung des äusseren secundären [867] Widerstandes bilde. Vergeblich suchte ich zuerst diese Frage dadurch zu entscheiden, dass ich die Keilbäusche der Hilfskette in beständigem Abstände von einander verschiedenen Strecken des Prisma's anlegte und die Veränderungen verglich, welche der Hauptstrom in dem Widerstande dieser Strecken hervorbrachte. Es zeigten sich keine deutlichen Unterschiede, allein das Verfahren erwies sich als zu unsicher, um sich bei diesem Ergebniss beruhigen zu dürfen. Zur schärferen Prüfung beschloss ich, zwei gleich lange Strecken des Kartoffelprisma's zu Schenkeln eines WHEATSTONE'schen Stromnetzes¹ zu machen, in dessen ungespaltenen Strecke eine Hilfskette von hinlänglicher Kraft befindlich, und dessen beiden anderen Schenkeln ein solcher Widerstand ertheilt wäre, dass bei dem ursprünglichen Leitvermögen des Kartoffelgewebes der Strom in der Brücke verschwände. Wenn dann durch die Einwirkung des Hauptstromes die beiden Strecken des Prisma's verschiedenen Widerstand annähmen, müsste sich dies dadurch kundgeben, dass beim Schliessen der Hilfskette nach dem Oeffnen der Hauptkette ein Strom in der Brücke entstände.

Dieser Versuchsplan wurde in's Werk gesetzt, indem ich dem Kartoffelprisma in gleichen Abständen drei mit Zinklösung getränkte Keilbäusche anlegte, welche auf verquickte Zinkplatten gebunden und passend aufgestellt waren. Das mittlere Zinklech führte zum einen Ende der Hilfskette, die beiden anderen waren durch die Brücke verbunden, und hingen ausserdem mit dem anderen Ende der Hilfskette zusammen durch metallische Leitungen von angemessenem Widerstande, welche die beiden anderen Schenkel des Stromnetzes ausmachten. Der Widerstand der einen dieser Leitungen konnte hinreichend fein abgestuft werden, und mit Hülfe

¹ Philosophical Transactions etc. For the Year 1843. P. II. p. 323; — POGENDORFF's Annalen u. s. w. 1844. Bd. LXII. S. 535. — KIRCHHOFF, ebendas. 1845. Bd. LXIV. S. 512.

davon wurde der Stromzweig in der Brücke, worin die eine Rolle der Bussole eingeschaltet war, leicht zum Verschwinden gebracht. Die Empfindlichkeit der Anordnung war so gross, dass einer Veränderung des Widerstandes eines der Schenkel um $\frac{1}{200}$ etwa ein Scalenthail Ausschlag entsprach. [868]

Nun liess ich, bei geöffneter Hülfskette,¹ den Hauptstrom sich durch Entwicklung des secundären Widerstandes auf's Aeusserste schwächen, prüfte den Brückenstrom, legte die Wippe im Hauptkreise um, liess den umgekehrten Hauptstrom den secundären Widerstand zerstreuen, prüfte abermals den Brückenstrom, liess von Neuem durch den Hauptstrom den secundären Widerstand in entgegengesetzter Richtung von vorhin hervorrufen, prüfte zum drittenmal den Brückenstrom, u. s. f. Der Erfolg war in mehreren wohlgelungenen Versuchen, dass zwar der Strom in der Brücke nicht gerade Null blieb, was bei der Dauer der Beobachtungen nicht zu verlangen war, dass sich aber, in Sinn und Grösse der auftretenden Ablenkungen, keine Spur eines Gesetzes blicken liess. Und doch bringt, wie man leicht bemerkt, das angewendete Verfahren es mit sich, dass bei einem beständigen Unterschiede zwischen dem Widerstande der Ein- und dem der Austrittshälfte, die Ausschläge in der Brücke bald die eine, bald die andere Richtung gehabt, mit anderen Worten, dass ihre Grössen sich summirt haben würden. Gleichgültig war dabei, ob der mittlere Bausch mit dem positiven oder mit dem negativen Ende der Hülfskette verbunden war, d. h. ob der Hülfsstrom in der Eintrittshälfte dieselbe Richtung wie der Hauptstrom hatte oder nicht. Dadurch ist dem Verdacht vorgebeugt, als habe vielleicht der in der Eintrittshälfte zufällig stets dem Hauptstrom entgegengesetzte, in der Austrittshälfte aber gleichgerichtete Hülfsstrom in der ersteren Hälfte den inneren secundären Widerstand zerstreut, in der letzteren bestehen lassen, und als sei so durch die Prüfung selber die durch den Hauptstrom bewirkte Ungleichheit der Widerstände wieder verwischt worden.

Aus diesen Versuchen ist somit zu schliessen, dass der Widerstand des Kartoffelprisma's in allen seinen mittels der Keilbäusche zugänglichen Querschnitten unter dem Einfluss des Hauptstromes gleichmässig steigt und fällt, und dass keine nachweisbare Abstufung des inneren secundären Widerstandes vom [869] Eintritts- nach dem Austrittsende zu stattfindet,

¹ Die Oeffnung geschah natürlich an zwei Stellen, nämlich in den beiden Drähten, die von den beiden äussersten Zinkblechen ausgingen, und zwar bevor diese Drähte sich in die Brücke und in die beiden metallischen Schenkel des Stromnetzes spalteten. Anderenfalls hätte ein Theil des Hauptstromes seinen Weg durch die Brücke genommen.

welche auf eine Beziehung zwischen dem inneren und dem äusseren secundären Widerstande hinwies. Wenn folglich die Maxima und Minima des Haupt- und Hülfsstromes in den obigen Versuchen einander zu entsprechen schienen, so ist darauf nichts zu geben. War dies wirklich der Fall, so war es nur ein zufälliges Zusammentreffen. Allein jenes Entsprechen kann ebensogut nur ein Anschein gewesen sein, erzeugt durch eine Reihe von Möglichkeiten, deren ausführliche Zergliederung sich hier nicht der Mühe lohnen würde.

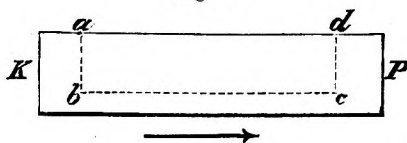
Wie mit der Dauer der Durchströmung, so nimmt der innere secundäre Widerstand in einem gegebenen Kartoffelprisma natürlich auch mit der Stärke des Hauptstromes zu. Schon bei fünf GROVE'schen Gliedern und den gewöhnlichen Maassen des Prisma's trat die Erscheinung in sehr grosser Stärke hervor. Wurden noch fünf Glieder in die Hauptkette genommen, so wuchs auch der innere secundäre Widerstand, und so fort bis zu zwanzig Gliedern. Doch geschah das Wachstum immer langsamer, so dass durch die Vermehrung der Gliederanzahl von fünfzehn auf zwanzig nur noch eine ganz unbedeutende Verstärkung des inneren secundären Widerstandes herbeigeführt wurde.

Es versteht sich von selber, dass es sich hierbei nicht um die absolute Stromstärke, sondern, wie bei ähnlichen Wirkungen des Stromes im Inneren von Leitern, um die Stromdichte handelt. Es würde indess wünschenswerth sein, dies so zu zeigen, dass bei beständig bleibender Stromstärke der Querschnitt des Kartoffelprisma's verändert würde. Da, wie wir sehen werden, der äussere secundäre Widerstand mit der Verkleinerung der Berührungsfläche zwischen Bausch und feuchtem porösen Körper rasch zunimmt, so kann dies nicht ohne Weiteres in der Art geschehen, dass man, im Hauptkreise beobachtend, Prismen von verschiedenem Querschnitt einem Strome von stets gleicher Stärke aussetzt und die durch den secundären Widerstand in den verschiedenen Fällen herbeigeführten Schwächungen des Stromes miteinander vergleicht. Es würde vor der Hand an jedem Mittel fehlen, um den Antheil an der Schwächung des Stromes, der dem inneren, von dem zu sondern, der dem äusseren secundären Widerstande zukommt. Es ist vielmehr klar, dass zu einer tadel- [870] freien Versuchsweise hier gehört, dass sowohl die ursprüngliche Stärke, des Stromes, als der äussere secundäre Widerstand beständig gehalten werden, welches letztere nur so möglich ist, dass die Enden des Prisma's unverrückt an den Bäuschen liegen bleiben. Daraus ergibt sich folgendes Verfahren.

Man bezeichnet sich an dem Prisma durch Tintenpunkte zwei gleich lange Strecken, *A* und *B*, welche einen möglichst grossen Theil seiner Länge einnehmen, an jedem Ende des Prisma's jedoch, und zwischen

sich, noch ein etwa 1^{cm} langes Stück übrig lassen. Der einen dieser Strecken, *A*, legt man die Keilbäusche der Hülfskette zuerst so an, dass sie dessen ganze Länge umfassen, und bestimmt die absolute Verminderung des Hilfsstromes, welche der Hauptstrom hervorbringt. Dann verjüngt man in der Strecke *A* das Prisma um die Hälfte, rückt die Keilbäusche der Hülfskette einander um die Hälfte näher, und schneidet die Strecke *B* aus dem Prisma aus. Sieht man davon ab, dass die Leitung des Hilfsstromes zwischen den Keilbäuschen, und des Hauptstromes da wo der Querschnitt des Prisma's sich plötzlich um die Hälfte ändert, keine lineare sein kann, so lässt diese Reihe von Operationen den Widerstand sowohl im Haupt- als im Hülfskreise, und folglich beide ursprüngliche Stromstärken, unverändert, verdoppelt hingegen die Stromdichte in der verjüngten Strecke. Wächst folglich der innere secundäre Widerstand mit der Stromdichte, so muss sich eine Vergrößerung der durch die beiden secundären Widerstände im Hauptkreise bewirkten Schwächung

Fig. 6.



der Hauptstromstärke, noch leichter aber eine solche der durch den inneren secundären Widerstand allein bewirkten Schwächung der Hilfsstromstärke nachweisen lassen.

Ich habe diesen Versuchsplan mehrmals in's Werk gesetzt, jedoch ohne klaren Erfolg. Es ist in Wirklichkeit, aus Gründen, deren Ausführung zu weitläufig werden würde, unmöglich, die Bedingungen zu erfüllen, auf denen er beruht. Ebenso wenig ist mir dies mit einem einfacheren Versuchsplan gelungen, den ich dann zu demselben Zweck erdachte. Er besteht darin, ein Kartoffelprisma *KP* (s. Fig. 6) zwischen die Zuleitungsbäusche zu bringen, an welchem ein Stück *a b c d* ausgeschnitten, und wieder eingesetzt ist. Ich liess den secundären Widerstand sich so weit entwickeln, dass der Strom beständig erschien, [871] und entfernte dann plötzlich das Stück *a b c d*. Natürlich geschah, unter heftigen Schwankungen des Scalenbildes, eine plötzliche Verminderung der Stromstärke. Ich hoffte aber nach Beruhigung des Spiegels die Stromstärke noch langsam abnehmen zu sehen, zum Zeichen, dass der erhöhten Stromdichte in der verjüngten Strecke ein höherer Grad inneren secundären Widerstandes entspreche. Allein auch diese Versuchsweise schlug fehl, weil entweder, bei kleinem Widerstande im Kreise ausserhalb des

Prisma's, die Stromdichte in der verzüngten Strecke nicht hinlänglich wuchs, oder, bei grossem Widerstande, in Folge der Schwäche des Stromes sogar bei dreissig GROVE'schen Gliedern der Säule die Erscheinungen un deutlich wurden.

Unsere Bemühungen, das Wachsen des inneren secundären Widerstandes mit abnehmendem Querschnitt bei beständiger Stromstärke nachzuweisen, bleiben somit für jetzt vergeblich. Die Folge wird uns indess in den Stand setzen, diese Frage mit besserem Erfolg wieder aufzunehmen (s. unten §. XI).

Wollte man den inneren secundären Widerstand in den Ausdruck für den Widerstand des Kartoffelprisma's einführen, so würde er, nach den Untersuchungen dieses Paragraphen, durch einen von der Stromdichte und der Dauer der Durchströmung abhängigen Summanden zu dem Coëfficienten darzustellen sein, der den Widerstand des Gewebes für die Einheit der Länge und des Querschnittes bedeutet.

§. VI. Abhängigkeit des äusseren secundären Widerstandes von Stromstärke und Querschnitt.

Wir kehren nun zurück zu dem äusseren secundären Widerstande, der aus mehreren Gründen bei weitem die wichtigere Erscheinung für uns ist. Gleich dem inneren secundären Widerstande wächst der äussere in einem gegebenen feuchten porösen Körper rasch mit der Stromstärke. Bei nur einer GROVE'schen [872] Kette im Kreise zeigt sich an einem Eiweissprisma von den gewöhnlichen Maassen keine sichere Spur davon. Bei fünf GROVE'schen Gliedern dagegen sind schon alle oben beschriebenen Erscheinungen am Eiweiss, dem Muskelfleisch, dem Knorpel, dem elastischen und dem Sehnen-Gewebe, dem der Kartoffel, deutlich wahrzunehmen, nur dass das Sinken sowohl als das Wiederanwachsen der Stromstärke nach dem Umlegen der Wippe viel langsamer vor sich gehen als bei den hohen Stromstärken, und dass sich leicht Unregelmässigkeiten einstellen, z. B. der secundäre Widerstand nur oder vorzugsweise bei der einen Stromrichtung auftritt.

Die Ursache, weshalb wir uns bisher stets einer Säule von so grosser Gliederanzahl bedient haben, und dies für gewöhnlich auch fernerhin thun werden, ist also nicht etwa, dass es solcher Mittel bedarf, um den inneren oder äusseren Widerstand sichtbar zu machen. Sondern aus demselben Grunde, aus dem diese Anordnung vielleicht für den einen unserer Zwecke nicht die günstigste war, nämlich um die innere Polarisation im ursprünglichen Kreise zu beobachten, eignet sie sich zur Untersuchung des secundären Widerstandes. Sie hat gerade den Vortheil, dass wir uns dabei

um die verschiedenen secundär-elektromotorischen Kräfte, welche im Kreise rege werden mögen, nicht zu kümmern brauchen: so wenig wie um die innere Polarisation, um die der Kupferelektroden, um die Polarisation an der Grenze der Elektrolyte, und um die Hydrothermostrome, zu denen die thermische Wirkung des Säulenstromes vielleicht Anlass giebt.¹ Alle diese Störungen verschwinden unstreitig gegen die elektromotorische Kraft von zwanzig GROVE'schen Gliedern, und jede merkliche Stromschwankung darf ohne Weiteres auf eine Veränderung des Widerstandes bezogen werden.

Lässt man den secundären Widerstand durch den Strom von fünf GROVE'schen Gliedern sich vollständig entwickeln, so dass bei einer ursprünglichen Ablenkung von etwa 200 Scalentheilen mehrere Minuten vergehen, bis ein Sinken um einen Scalentheil erfolgt ist, und geht man dann plötzlich zu einer grösseren Stromstärke, z. B. zu der von zehn Gliedern über, so beobachtet man in den ersten Augenblicken wieder rasches Sinken, welches auf eine er- [873] neute Entwicklung secundären Widerstandes hinweist. In der That kann man sich, mit Hülfe leicht zu ersinnender Gegenversuche, überzeugen, dass das erneute Sinken nicht etwa darauf beruht, dass der secundäre Widerstand sich zum Theil zerstreut hat, während man, um die neuen Glieder aufzunehmen, die Kette einen Augenblick öffnete. Wartet man abermals einen nahezu beständigen Zustand ab, und steigert man wieder die Gliederanzahl der Säule um fünf, so beobachtet man den nämlichen Erfolg, und so habe ich ihn, wenn auch in immer kleinerem Maassstabe, bis zu dreissig Gliedern eintreten sehen.

Für den äusseren secundären Widerstand hat es keine Schwierigkeit, dessen Abhängigkeit vom Querschnitt, oder vielmehr von der Berührungsfläche zwischen feuchtem porösen Körper und Bausch, nachzuweisen. Sie ist erwähntermaassen (s. oben S. 99) der Art, dass dieser Widerstand um so beträchtlicher erscheint, je kleiner die Berührungsfläche, oder je grösser die Stromdichte darin. Dies spricht sich besonders darin aus, dass wenn man dem Eiweissprisma statt der auf die Axe senkrechten Grundflächen jederseits eine keilförmige Schneide oder eine Spitze ertheilt und es damit die Bäusche berühren lässt, man statt fünf GROVE'scher Glieder nur noch einer einzigen DANIELL'schen Kette bedarf, um alle Erscheinungen des äusseren secundären Widerstandes vollkommen deutlich wahrzunehmen. Dasselbe ist natürlich der Fall, wenn man umgekehrt die Berührungsfläche dadurch verkleinert, dass man das Prisma mit Keilbäuschen berührt. Da die schwefelsaure Zinkoxydlösung sich der Kupfer-

¹ Vergl. WILD in POGGENDORFF's Annalen u. s. w. Bd. CIII. S. 353.

oxydlösung in diesen Versuchen ganz gleich verhält, so wurde deshalb bei der obigen Anwendung der Hülfskette mit ihren Keilbäuschen die Vorsicht gebraucht, die Kette nie länger als nöthig geschlossen zu halten und den Strom oft umzukehren.

Bemerkenswerth ist der Erfolg, wenn man, bei nur einem Daniell im Kreise, ein Eiweissprisma zwischen die Bäusche bringt, das nur an einem Ende keilförmig zugeschärft ist. Alsdann nämlich beobachtet man den secundären Widerstand nur, wenn die Schneide dem Strome zum Eintritt dient. Hat der Strom die andere Richtung, so erscheint er ganz beständig.

Oeffnet man den Kreis, in welchem ein Eiweissprisma das Maximum des äusseren secundären Widerstandes angenommen [874] hat, ein paar Minuten lang, so findet man, wie schon bemerkt, die Stromstärke etwas gewachsen, obgleich während des Offenstehens die Temperatur des Eiweissprisma's nothwendig gesunken ist. Doch lässt diese von selber eintretende Zerstreung des äusseren secundären Widerstandes auch nach sehr langer Zeit noch immer den grössten Theil davon bestehen.

Selbst der umgekehrte Strom hebt übrigens den einmal vollständig entwickelten äusseren secundären Widerstand nicht ganz auf, wie schon oben S. 88 gezeigt wurde und wie abermals aus folgendem Versuch erhellt. Man richte sich so ein, dass man mit Leichtigkeit abwechselnd mit dem Strom der vielgliederigen GROVE'schen Säule, dem Hauptstrom, den einer DANIELL'schen Kette als Hülfsstrom durch die Zuleitungsgefässe und das Eiweissprisma schicken könne. Das Prisma muss die Bäusche mit hinreichend grossen Flächen berühren, damit der Hülfsstrom für sich keinen secundären Widerstand hervorrufe. Man bestimmt nun zuerst die Stärke des Hülfsstromes ehe der Hauptstrom durchgegangen ist. Dann lässt man diesen durch Entwicklung secundären Widerstandes sich auf's Aeusserste schwächen, kehrt ihn um, und ersetzt ihn wieder durch den Hülfsstrom in dem Augenblick, wo das langsame Wachsen sein Ende erreicht hat und der Hauptstrom wieder zu sinken beginnt. Man findet zwar den Hülfsstrom jetzt ansehnlich stärker als zu Anfang, allein dies rührt nur her von der durch den Hauptstrom entwickelten Wärme. Hat man ein Thermometer im Eiweiss stecken, und wartet man bis die Temperatur wieder auf den Punkt gesunken ist, wobei die erste Beobachtung geschah, so zeigt sich eine geringere Stärke des Hülfsstromes, so dass es klar ist, dass auch unter dem Einfluss des umgekehrten Stromes das Eiweissprisma seine ursprüngliche Leitungsgüte nie ganz wiedererlangt. Nur durch das Abschneiden des Eintrittsendes kann dies erreicht werden.

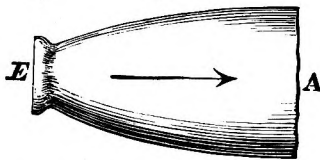
§. VII. Nähere Untersuchung des Eintrittsendes des feuchten porösen Körpers, welches der Sitz des äusseren secundären Widerstandes ist.

Es ist nun an der Zeit dieses Eintrittsende etwas genauer zu betrachten, um dadurch womöglich zu einer Vorstellung [875] von der Natur des äusseren secundären Widerstandes zu gelangen.

Bei fast allen feuchten porösen Körpern, welche man zwischen die Zuleitungsbäusche bringt, beobachtet man, dass das Eintrittsende sich nach kürzerer oder längerer Zeit, bis zu grösserer oder geringerer Tiefe, blau färbt in der Farbe des Kupfersalzes der Bäusche, während das Austrittsende diese Farbe nur oberflächlich annimmt, so dass man mittels dieses Kennzeichens die Stromrichtung bestimmen kann.

Das Eintrittsende eines Eiweissprisma's oder -Cylinders zeigt jedoch noch eine andere bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit. Man findet es nämlich nahe der Grundfläche nach Art einer Rakete eingeschnürt, oder, wie es in der Feuerwerkerei heisst, gewürgt (s. Fig. 7). Von der Grund-

Fig. 7.



fläche *E*, die dem Brandloch entspricht, bis zur Würgung ist das Eiweiss hellblau, die Kehle der Würgung dagegen sieht dunkelblaugrün aus, als ob ein abfärbender Faden zum Würgen gedient hätte. Diese Färbungen erstrecken sich, wie man auf Längsschnitten sieht, mehr oder minder ausgesprochen durch die ganze Masse des Eiweisses. Die Strecke von der Grundfläche bis zur Würgung fühlt sich sehr fest und derb, die Würgung selber hart wie Horn an. Die Würgung erscheint zuerst ganz nahe der Grundfläche als eine seichte dunkle Furche. In dem Maasse wie der Strom länger einwirkt, wird sie tiefer und breiter, und rückt sie weiter in der Richtung des Stromes fort. Hat der Strom seine unterste Grenze erreicht, so bleibt sie in einer Entfernung von 2—4^{mm} von der Grundfläche stehen.

Am Austrittsende zeigt sich nichts der Art. Die dort durch Diffusion entstandenen blauen Stellen bleiben weich, wie dies auch der Fall ist, wenn man Eiweiss noch so lange in Kupferlösung tauchen oder auf einem damit getränkten Bausche [876] stehen lässt. Hat aber der Strom lange in derselben Richtung angehalten, so macht sich am Austrittsende eine

leichte Anschwellung in Gestalt eines abgestumpften Kegels bemerkbar, dessen Grundfläche die vergrösserte blaugefärbte Grundfläche *A* des Eiweisscylinders ist, während seine abgestumpfte Spitze mit dem unveränderten mittleren Theile des Cylinders verschmilzt. In Fig. 7 ist diese Anschwellung, mit Rücksicht auf sogleich zu Erwähnendes, zu stark ausgeprägt.

Trägt man mit einem scharfen Messer die zwischen Grundfläche und Würgung gelegene Strecke des Eintrittsendes in dünnen Scheiben ab, so bleibt dies ohne Wirkung auf den äusseren secundären Widerstand. Dieser verschwindet erst, und der Strom erreicht erst wieder seine ursprüngliche Stärke (s. oben S. 88. 103), nachdem man mit dem schichtweisen Abtragen des Eintrittsendes an die Würgung gelangt ist. Nicht das ganze Eintrittsende also, sondern die der Würgung entsprechende Scheibe des Endes ist der eigentliche Sitz des äusseren secundären Widerstandes.

Die Würgung lässt sich ganz wie beim Eiweiss auch beim Leim, dem Knorpel, dem elastischen Gewebe, dem Rückenmark, dem Muskelfleisch und anderen feuchten porösen Körpern der Art wahrnehmen, wenn sie dem Strom hinreichend lange zwischen den Kupfersalz-Bäuschen ausgesetzt blieben.

Im Widerspruch mit früher von mir mitgetheilten Versuchen¹ muss ich endlich bemerken, dass sich mir neuerdings öfter ein Temperaturunterschied des Ein- und Austrittsendes, und zwar stets zu Gunsten des ersteren, dargeboten hat, jedoch ohne dass ich bis jetzt Gelegenheit genommen hätte, mich ausdrücklich und in Strenge davon zu überzeugen. Z. B. eine Dampfsäule stieg nur von dem Eintrittsende des feuchten porösen Körpers auf, von einem Leimprisma schmolz nur dies Ende u. d. m.

§. VIII. Vom äusseren secundären Widerstande bei Tränkung der Zuleitungsbäusche mit verschiedenen Flüssigkeiten.

Demnächst obliegt uns, um unsere Kenntniss des äusseren secundären Widerstandes zu erweitern, der Versuch, wie sich [877] dieser Widerstand gestalten werde, wenn wir den Strom dem Eiweiss durch Bäusche zuführen, die, statt wie bisher mit Kupferlösung, mit verschiedenen Flüssigkeiten getränkt sind.

Dass schwefelsaure Zinkoxydlösung sich dabei im Wesentlichen gleich der Kupferlösung verhalte, ist schon bei Gelegenheit der Anwendung der Hülfskette erwähnt worden, deren Zuleitungsgefässe und -Bäusche jene

¹ S. oben, Abh. I. S. 10.

Lösung enthielten (s. oben S. 102. 103). Um aber unsere Erfahrungen in dieser Richtung zu vervielfältigen, überziehen wir jetzt die Zuleitungsbäusche mit Sicherheitsbäuschen, die gleichfalls mit Kupferlösung getränkt sind, und diese wiederum mit Hilfsbäuschen, welche die zu versuchenden Elektrolyten enthalten sollen; zwischen die Hilfsbäusche wird das Eiweiss gebracht.

Wählen wir zuerst Kochsalzlösung, wegen der bedeutenden Rolle, die sie in der Elektrophysiologie spielt. Man ist nicht wenig überrascht zu finden, dass Eiweiss zwischen zwei Kochsalz-Hilfsbäuschen noch so lange Zeit dem Strom ausgesetzt, keine Spur äusseren Widerstandes wahrnehmen lässt. Die Ablenkung wächst bei dieser Anordnung stetig, in Folge der Erhitzung des Eiweisses, bis das dynamische Gleichgewicht zwischen Wärmezeugung und -Abgabe erreicht ist. Umlegen der Wippe hat keine bemerkenswerthe Folge. Das Abschneiden des Eintrittsendes verstärkt den Strom nicht mehr als das des Austrittsendes. Das Eintrittsende zeigt übrigens ganz wie mit der Kupferlösung die Würigung, nur natürlich nicht blau, sondern gelbgrau. Indem das Eintrittsende fast bis auf die Hälfte seines Durchmesser einschrumpft, während das Austrittsende mehr und mehr anschwillt, nimmt ein Eiweisscylinder hier zuletzt die abenteuerliche Gestalt an, die Fig. 7 S. 104 zeigt. In Folge des Umkehrens des Stromes geht diese Gestalt wieder in die cylindrische über; die nicht ganz verschwindende Würigung am alten Eintrittsende verhindert aber, dass sich die Kegelgestalt in der anderen Richtung rein ausprägen, und der Cylinder erhält mehr die Form einer Birne, deren Stiel am neuen Eintritts- und deren sogenannte Knospe am neuen Austrittsende läge. Als ich am Eintrittsende keilförmig zugeschärfte Eiweissprismen zwischen die Kochsalz-Hilfsbäusche brachte, erhitzte sich die Schneide dermaassen, dass die Leitung unter Knistern plötzlich ganz unterbrochen wurde. Nur indem [878] ich den Strom der zwanzig-gliedrigeren GROVE'schen Säule dem Eiweiss durch Kochsalz-Keilbäusche zuführte, gelang es mir zuletzt mit dieser Flüssigkeit äusseren secundären Widerstand in geringem Maasse, theils durch langsames Wachsen der Stromstärke nach dem Umlegen der Wippe, theils durch den verschiedenen Erfolg beim Verrücken des Ein- und des Austrittsbäusches nachzuweisen.

Da für gewöhnlich mit der Kochsalzlösung durchaus kein secundärer Widerstand auftritt, so lange nicht die Kupferlösung durch die Kochsalzbäusche hindurch zum Eiweiss dringt, so bietet sich jetzt eine bequeme Art dar, verschiedene Flüssigkeiten auf die Fähigkeit zu prüfen, mit Eiweiss secundären Widerstand zu geben, ohne für jede Flüssigkeit die Zuleitungsbäusche mit neuen Sicherheits- und Hilfsbäuschen überziehen, und ohne darauf Rücksicht nehmen zu müssen, ob die Grenze des mit

der zu prüfenden Flüssigkeit getränkten Hilfsbausches und des Sicherheitsbausches ein Sitz secundären Widerstandes werde. Man bekleidet nämlich die Sicherheitsbäusche zuerst mit einem mehrere Millimeter dicken Blatt Modellirthon, dann mit einem Hilfsbausch, der mit Kochsalzlösung getränkt ist. Der Thon setzt keinen secundären Widerstand (s. oben S. 85) und verzögert die Diffusion der Lösungen, so dass man nicht sobald einer Erneuerung der Anordnung bedarf. Zwischen die Hilfsbäusche bringt man das Eiweissprisma, das man mittendurchschneidet, und seine beiden Hälften durch den mit der zu prüfenden Flüssigkeit getränkten Bausch von einander trennt. Ich habe dergestalt eine ziemliche Anzahl von Versuchen angestellt, zu dem Zweck, die Eigenschaft zu entdecken, wodurch eine Flüssigkeit befähigt wird, mit Eiweiss secundären Widerstand zu geben. Das Ergebniss dieser Versuche, verbunden mit dem der früheren, ist in folgender Uebersicht enthalten. Die Lösungen waren, wo nicht das Gegentheil gesagt ist, gesättigt.

Secundären Widerstand gaben:

*Schwefelsaure Kupferoxydlösung.

*Schwefelsaure Zinkoxydlösung.

*Salpetersaure Silberoxydlösung.

*Neutrale essigsäure Bleioxydlösung.

*Chlorzinklösung.

*Alaunlösung. [879]

*Verdünnte Schwefelsäure ($\text{SO}_4\text{H} : \text{HO} :: 1 : 19$).

*Verdünnte Salpetersäure (Käufliche $\text{NO}_5 : \text{HO} :: 1 : 9$).

Dagegen versagten secundären Widerstand:

Chlornatriumlösung.

Dieselbe verdünnt mit dem dreifachen Volum Wassers.

Dieselbe verdünnt mit dem neunfachen Volum Wassers.

Chlorammoniumlösung.

Chlorcalciumlösung.

*Quecksilberchloridlösung.

Schwefelsaure Natronlösung.

Neutrale chromsaure Kalilösung.

Doppelt chromsaure Kalilösung.

Kohlensaure Kalilösung.

Kalihydratlösung.

Brunnenwasser.

*Absoluter Alkohol.

*Derselbe verdünnt mit dem halben Volum Wassers.

Essigsäure.

Bei vielen der letzteren Flüssigkeiten, welche gleich der Kochsalz-

lösung keinen secundären Widerstand geben, wurde wie dort gleichwohl die Würgung am Eintrittsende des Eiweisscylinders beobachtet. Umgekehrt bot die Höllensteinlösung das Beispiel einer Flüssigkeit dar, mit welcher der stärkste secundäre Widerstand auftrat, ohne dass eine deutliche Spur von Würgung bemerkbar wurde. Der Strom sank nämlich damit viel zu schnell auf eine sehr niedere Stufe, als dass die Erscheinung Zeit gehabt hätte sich auszubilden.

Vielleicht ist es nicht unnütz zu bemerken, dass es im Wesentlichen gleichgültig ist, ob man das Eiweissprisma zwischen Bäusche bringt, welche mit einer bestimmten Flüssigkeit getränkt sind, oder ob man es bogenförmig mit seinen beiden Enden in dieselbe Flüssigkeit taucht. Die von uns bis jetzt angewendete Versuchsweise hat keine andere Bedeutung, als dass sie eine grössere Bequemlichkeit gewährt und die Berührungsfläche des Eiweisses mit dem zuführenden Elektrolyten sicherer abzugrenzen erlaubt.

Sehr sonderbar ist aber, dass auch an einem flüssiges Eiweiss enthaltenden heberförmigen Rohr, welches in die mit Kupfer- [880] oder Zinklösung gefüllten Zuleitungsgefässe umgestürzt ist, alle Erscheinungen des äusseren secundären Widerstandes, zwar langsam, aber in vollkommener Ausprägung und in grösstem Maassstabe, auftreten. Dabei bildet sich in dem Rohr, vom Eintrittsende her, ein mit der Dauer der Schliessung bis zu einer gewissen Grenze fortschreitendes Gerinnsel, das der Sitz des secundären Widerstandes ist, da der Strom sich hebt wenn es entfernt wird. In das Austrittsgefäss verbreitet sich kein entsprechendes Gerinnsel. Mit Kochsalzlösung bleibt der Strom beständig.

§. IX. Vom äusseren secundären Widerstande bei Zuleitung des Stromes durch metallische Elektroden.

Ehe wir eine Erörterung dieser Thatsachen versuchen, wird es zweckmässig sein, unsere Versuche auch noch dahin abzuändern, dass wir den Strom dem Eiweiss statt durch Elektrolyte, durch metallische Elektroden zuführen, um zu sehen, ob sich dabei gleichfalls secundärer Widerstand nachweisen lasse. Es wird darauf ankommen, ob wir in dieser Bemühung nicht durch die Polarisation allzusehr gehemmt werden, die, wenigstens bei den negativeren Metallen, jetzt auch gegen die elektromotorische Kraft der zwanziggliederigen GROVE'schen Säule nicht mehr verschwinden dürfte.

Bringt man einen Eiweisscylinder mit seinen beiden Grundflächen

zwischen Platinelektroden, die mit dieser Säule verknüpft sind, so sinkt unter lebhafter Gasentwicklung die Stromstärke rasch auf einen kleinen Bruchtheil ihrer Grösse, während sich am Austrittsende ein Kegel in der oben S. 105. 106 beschriebenen Art ausbildet, der aber hier eine eigenthümliche Beschaffenheit hat. Er besteht nämlich aus einer durchsichtigen, von vielen (Wasserstoff-) Blasen erfüllten, äusserst weichen Masse, die wie hartgesottenes Kiebitzeiweiss aussieht, und aussen und innen stark alkalisch reagirt. Am Eintrittsende bewahrt das Eiweiss sein porzellanartiges Ansehen und fühlt sich härter an als in der Mitte, wo es unverändert bleibt; die harten Theile reagiren lebhaft sauer. Eine Würigung findet nicht statt. Legt man die Wippe um, so geht der Strom zuerst in einem Sprunge, dann aber so langsam in die Höhe, dass es ganz so aussieht, als habe man [881] es mit dem Verschwinden secundären Widerstandes zu thun. Auf der Höhe verweilt der Strom nur einen Augenblick und sinkt dann wieder, und dieser Vorgang wiederholt sich so oft wie man die Strömungsrichtung ändert, ohne dass auch bei langer Dauer des Stromes in der der ursprünglichen entgegengesetzten Richtung, der Eiweisscylinder seine Gestalt wieder annähme, geschweige ein Kegel am neuen Austrittsende sich bildete.

Sind die Platinoberflächen nur klein, wie es der Fall ist, wenn man Platindrähte als Elektroden einer fünf- bis zwanziggliedrigeren Säule in das Eiweiss einsticht, so verlaufen die Erscheinungen, was die Schwankungen der Stromstärke betrifft, ähnlich, nur dass das langsame Wachsen nach dem Umlegen vermisst wird. Es fragt sich, ob dies Wachsen hier auf secundären Widerstand zu deuten sei. Es könnte nämlich auch dadurch, dass sich der Polarisationsstrom plötzlich, statt sich vom ursprünglichen Strom abzuziehen, dazu hinzufügt, des letzteren thermische Wirkung wachsen, und den Widerstand des Eiweisses herabsetzen. Inzwischen ist erstens die Schwächung des Stromes zu beträchtlich, um sie allein der Polarisation zuzuschreiben, zweitens der positive Ausschlag beim Umlegen nicht so gross, wie er sein müsste, wenn diese Schwächung allein von Polarisation herrührte. Drittens endlich zeigt sich, dass auch hier das Eintrittsende eine besondere Rolle bei der Schwächung des Stromes spielt, indem dem Abschneiden des zeitigen Eintrittsendes stets eine ungleich grössere Hebung des Stromes folgt als dem des zeitigen Austrittsendes. Hat man Platindrähte als Elektroden des geschwächten Stromes im Eiweiss stecken, und zieht man die Kathode heraus um sie wo anders einzustecken, so bleibt Alles beim Alten. Verfährt man ebenso mit der Anode, so erreicht der Strom auf Augenblicke seine ursprüngliche Grösse wieder. Dies zeigt um so sicherer, dass es sich hier um äusseren secundären Widerstand, und nicht um Polarisation handelt, als bei der Polari-

sation es bekanntlich gerade umgekehrt die Kathode ist, deren Erschütterung die Stromstärke wieder belebt.¹ [882]

Mit Zinkelektroden folgt auf das Umlegen der Wippe, nachdem der Strom bis auf einen kleinen Bruchtheil geschwunden ist, keine Hebung der Stromstärke, sondern räthselhafterweise erneutes Sinken. Bei abermaligem Umlegen der Wippe (zur ursprünglichen Richtung) geht der Strom plötzlich in die Höhe bis etwa zu seiner anfänglichen Stärke, sinkt aber bald wieder eben so tief wie das erstemal. Ein drittes Umlegen hat wieder erneutes Sinken, ein viertes rasches Emporsteigen zur anfänglichen Höhe zur Folge, und so fort mit jedem ungeraden und jedem geraden Umlegen. Die äusseren Erscheinungen am Eiweisscylinder sind dabei dieselben wie mit dem Platin, der Kegel schien mir aber in derselben Zeit noch rascher zu wachsen als dort. Verquicktes Zink verhielt sich wie unverquicktes, Kupfer anfangs wie Zink, später mehr wie Platin.

Hier schliessen sich einige Wahrnehmungen verwandter Natur an Bäuschen, statt an Eiweiss, an. Auf ein Kupferelektrodenpaar bringe man Bäusche mit gesättigter schwefelsaurer Kupferlösung getränkt, und verbinde sie mittels Fliesspapierstreifen, die mit derselben Lösung getränkt sind; oder man treffe die gleiche Anordnung mit verquicktem Zink und Zinklösung. In beiden Fällen glaubt man alle Bedingungen für die Beständigkeit des Stromes erfüllt zu haben. Mit nichten; bei zwanzig Gliedern im Kreise fast augenblicklich, noch bei fünf nach nicht allzulanger Zeit sieht man den Strom plötzlich bis auf einen kleinen Rest verschwinden. Legt man um, so stellt er sich im Nu wieder her, ohne dass langsames Wachsen folgt, und das Sinken beginnt von Neuem, früher oder später, je nach der Stromstärke. Aehnlich wirkt Oeffnen des Kreises während einiger Minuten. Die Besichtigung der Elektroden lehrt übrigens, dass der galvanoplastische Process nicht ordentlich von statten geht. Bei gleicher Stärke des Stromes ist seine Unbeständigkeit um so grösser, je kleiner die Elektroden, je trockener die Bäusche und je fester sie den Elektroden anliegen. Nicht einmal wenn man die Elektroden mit darauf gebundenen Bäuschen in Gefässe taucht, die ein Schliessungsrohr überbrückt, oder wenn nur der einen ein Bausch anliegt, wird der Strom beständig. Nur der Theil des Stromes verhält sich so, der von den frei umspülten Kanten u. s. w. beider Metallplatten ausgeht. [883]

Man sieht leicht, wie gefährlich diese Erscheinung in manchen Versuchen werden kann, wenn man nicht darauf vorbereitet ist. Dass es sich dabei im Wesentlichen nicht um Polarisation handelt, geht abermals

¹ Die Literatur hierzu s. in meinen Untersuchungen u. s. w. Pd. I. S. 212.

aus dem Betrage der Stromschwächung und der beim Umlegen stattfindenden positiven Wirkung hervor, dann aber, in diesem Fall, auch noch daraus, dass dieselben Elektroden, von denselben Elektrolyten frei umspült, überhaupt keine hier in Betracht kommende Ladung annehmen. Die Erscheinung bekräftigt sich vielmehr als dem Gebiete des secundären Widerstandes angehörig dadurch, dass man durch verstärkten Druck auf den Eintritts-, nicht auf den Austrittsbausch, die Stromstärke auf Augenblicke wiederherzustellen vermag.

§. X. Zur Theorie des äusseren secundären Widerstandes.

Dies sind die wichtigsten Thatsachen, die ich über den äusseren secundären Widerstand ermittelt habe. Eine sichere Deutung dieser Erscheinung darauf zu gründen, muss ich mich leider zur Zeit noch bescheiden.

Klar ist zunächst, dass der Unterschied im Verhalten des Ein- und Austrittsendes, wie er beim Eiweiss, dem Knorpel u. s. w. zwischen Kupfersalzbäuschen sich uns dargeboten hat, zu bringen ist auf Rechnung jener überführenden, oder, wie ich sie gern nenne, kataphorischen Wirkung des Stromes, deren Bedeutung in diesem Gebiete mit jedem Tage wächst, seit Hr. WIEDEMANN sie der Vergessenheit entriss und ihre Gegenwart überall da wahrscheinlich machte, wo der elektrische Strom in Capillar-Aggregaten eingeengte Elektrolyte ergreift.¹ Sobald der Strom begonnen hat, von Bausch zu feuchtem porösen Körper, von diesem zu Bausch überzugehen, reisst er auch die Flüssigkeiten darin mit sich, und treibt die Kupferlösung des Eintrittsbausches in das Eiweissprisma oder das Stück Rippenknorpel, das Wasser oder den Saft aus diesem in den Austrittsbausch hinein.

Es scheint beim ersten Blick, als müsse die Folge hiervon gerade das Umgekehrte vom äusseren secundären Widerstande [884] sein. Man sollte meinen, das mit der besserleitenden Kupferlösung durchdrungene Eintrittsende, und somit der ganze feuchte poröse Körper, müsse an Widerstand verlieren.

Es giebt aber noch etwas anderes zu bedenken. Die verschiedenen Elektrolyte unterliegen der Fortführung im Strome bekanntlich um so mehr, je schlechter sie leiten. Die Feuchtigkeit im Eiweiss wird also schneller nach dem Austrittsbausch zu wandern, als die Kupferlösung

¹ [Hr. G. QUINCKE hat seitdem über diese Erscheinung, wie auch über das von Hrn. JÜRGENSEN entdeckte reciproke Phänomen (s. unten §. XII) folgenreiche Untersuchungen angestellt.]

darin ihr Platz machen kann. Daher rührt die kegelförmige Anschwellung am Austrittsende, welche um so grössere Dimensionen annimmt, je länger der Strom, wie dies beim Kochsalz u. s. w. der Fall ist, ungeschwächt, oder gar durch die von ihm selber ausgehende Erwärmung des Eiweisses verstärkt, seine kataphorische Wirkung übt. Ebenso wird die Eiweissfeuchtigkeit das Eintrittsende schneller räumen, als die Kupferlösung aus dem Eintrittsbauisch ihr folgen kann. Daher muss hier, an der Grenze beider Flüssigkeiten, eine an Wasser verarmte und deshalb geschrumpfte und hornig verhärtete Stelle entstehen, die sich aussen als Würkung bemerklich macht. Die Würkung muss, wie die Erfahrung lehrt, mit der Dauer des Stromes an Tiefe und Breite zunehmen, denn mit dieser Dauer muss der Vorsprung wachsen, den die Eiweissfeuchtigkeit vor der Kupferlösung gewinnt. Aber auch die Eiweisstrecke zwischen der Grundfläche und dieser Stelle muss, ganz wie wir es gefunden haben (s. oben S. 104), härter erscheinen als eine durch Diffusion entstandene, weil das Wasser aus dem Eiweiss vertrieben wurde, ehe die gesättigte Lösung eindrang, welche das Eiweiss nicht wie Wasser aufzuweichen vermag.

So weit scheint Alles deutlich, und was liegt näher, als folgendermaassen weiter zu schliessen. Die an Wasser verarmte Strecke muss nothwendig fast nichtleitend werden, und wirklich haben wir darin den eigentlichen Sitz des secundären Widerstandes erkannt. Die Würkung scheint also selber daran Schuld zu sein, dass sie nicht weiter vorschreitet, sondern auf einer gewissen Stufe der Ausbildung und in einer gewissen Entfernung vom Eintrittsende stehen bleibt. Dies geschieht, wenn der Strom dadurch so geschwächt ist, dass er den Widerstand nicht mehr zu überwinden vermag, der sich der Bewegung der Flüssigkeiten im Eiweiss entgegenstellt. Je kleiner übrigens der Querschnitt des Eiweissprisma's am Eintrittsende, um so schwächere Ströme werden dem Wasser über die Kupferlösung einen Vorsprung von gegebener Grösse verschaffen, oder in um so kürzerer Zeit wird bei gleicher Stromstärke der gleiche Vorsprung erreicht werden. Hört der Strom auf, so zieht das getrocknete Eiweiss rasch wieder Feuchtigkeit an. Darauf beruht die theilweise Wiederherstellung des Stromes durch das Oeffnen der Kette. Legt man die Wippe um, so wird die ausgedörrte Scheibe durch die mit dem Strome wiederkehrende Feuchtigkeit des Eiweisses bewässert, und der Strom geht schneller und viel weiter in die Höhe, ohne jedoch ganz die ursprüngliche Stärke wiederzuerlangen (s. oben S. 88. 103): denn in der That verändert die Würkung am alten Eintrittsende ihr Aussehen nur wenig unter dem Einfluss des umgekehrten Stromes, während man sofort eine solche auch an Stelle der früheren Anschwellung am alten Austritts-, dem neuen Eintrittsende, entstehen sieht.

Mit dieser Theorie stimmt es zwar, dass mit Salzlösungen getränkte balkenförmige Bäusche, als feuchte poröse Körper zwischen die Zuleitungsbäusche gebracht, keinen secundären Widerstand zeigen, insofern jene Lösungen etwa ebenso schnell wandern mögen, wie die Kupferlösung der Zuleitungsbäusche. Die neutrale chromsaure Kalilösung machte hiervon eine Ausnahme (s. oben S. 87); man müsste aber, um diesen Fall gehörig zu beurtheilen, erst noch mehr Versuche mit Lösungen angestellt haben, die mit Kupferlösung einen Niederschlag geben. Dagegen passt es entschieden nicht zur Theorie, dass geschlämmter Sand (s. oben S. 85) und Modellirthon keinen secundären Widerstand annehmen, dass letzterer, ohne eine Spur davon zu zeigen, die Kupferlösung mit der Zeit zu einem anderen feuchten porösen Körper, etwa Eiweiss, durch sich hindurch lässt, wo dann secundärer Widerstand erscheint. Auch passt es nicht dazu, dass das flüssige Eiweiss, oder vielmehr das darin durch die Metallsalzlösung erzeugte Gerinnsel, secundären Widerstand giebt. Das Fortschreiten der Gerinnung im Rohr vom Eintrittsende her hat man sich dabei wohl so zu denken, dass ursprünglich an der Berührungsfläche des Eiweisses mit der Metallsalzlösung eine Schicht gerinnt, in der dann die kataphorische Wirkung vor [886] sich geht. Weshalb nicht dasselbe auch am Austrittsende stattfindet, muss im Dunkel bleiben. Wie dem auch sei, man würde sich hier vergebens, scheint es, nach den Bedingungen umsehen, auf die wir die Theorie des äusseren secundären Widerstandes gegründet haben.

Und wirklich, wie wohlgelungen sie auch beim ersten Anblick sich ausnehmen mochte, in der Form, wie sie hingestellt wurde, ist die Theorie unhaltbar. Liessen auch jene beiden Schwierigkeiten sich wegerklären, sie fällt rettungslos vor der Thatsache, dass es mehrere Flüssigkeiten giebt, welche besser leiten und daher langsamer wandern als Kupferlösung, und welche keinen secundären Widerstand geben, wohl aber die Würkung; und dass es umgekehrt eine Flüssigkeit giebt, die Höllensteinlösung, bei der, trotz dem sehr starken secundären Widerstande, die Würkung vermisst wird. Die Würkung kann also ohne secundären Widerstand, und dieser kann ohne jene bestehen. Da aber die Würkung, wo sie mit secundärem Widerstande zusammen vorkommt, sich als dessen eigentlicher Sitz erweist, so muss sie gleichwohl irgendwelche Beziehung dazu haben. Die Frage scheint nur zu sein, weshalb die Würkung bei gewissen Flüssigkeiten nichtleitend werde, bei anderen nicht.

Eine Musterung der Flüssigkeiten, welche secundären Widerstand geben und versagen, führt in dieser Hinsicht zu keinem Ergebniss. Einen Augenblick glaubte ich, die Flüssigkeiten der letzteren Art seien vor denen der ersteren, wie die Kochsalzlösung vor der Kupferlösung, allgemein

durch grössere Wassergier ausgezeichnet, und ich dachte mir den Zusammenhang so, dass, wo kein secundärer Widerstand stattfindet, die durch den Strom getriebene Feuchtigkeit des Eiweisses die Lösung nach sich ziehe, und deshalb die Würgung immer hinreichend gut leite. Allein erstens giebt auch eine verdünnte Kochsalzlösung keinen secundären Widerstand, obschon sie noch immer viel besser leitet, oder langsamer wandert, als die Eiweissfeuchtigkeit, während ihre Wassergier nur noch gering sein kann; für's Zweite hat, bei grösserer Vervielfältigung der Versuche, die Vertheilung der Flüssigkeiten in solche die Widerstand geben und die ihn versagen, überhaupt nicht mehr [887] deren kleinerer und grösserer Wassergier entsprochen, wie denn unter die ersteren Flüssigkeiten auch die so höchst wassergierige Chlorzinklösung zu stehen gekommen ist.

Eine andere Bemerkung ist vielleicht thatsächlich besser begründet, allein für das Verständniss ist damit nichts gewonnen. Die Sternchen bezeichnen nämlich unter den oben S. 107 angeführten Flüssigkeiten die, welche in dem filtrirten Hühnereiweiss einen undurchsichtigen Niederschlag bewirken. Wie man sieht, sind merkwürdigerweise alle Flüssigkeiten, welche secundären Widerstand geben, solche, welche das Eiweiss fällen; doch stehen auch einige Flüssigkeiten der Art in der Reihe derer, welche secundären Widerstand versagen. Ich vermag keine Hypothese zu ersinnen, wodurch das Vermögen einer Flüssigkeit, das Hühnereiweiss undurchsichtig zu fällen, verknüpft würde mit dem, in Berührung mit dem geronnenen Eiweiss unter dem Einfluss des Stromes secundären Widerstand zu erzeugen. Um zu ermitteln, ob wirklich eine solche Beziehung stattfindet, würden vielleicht ähnliche Versuchsreihen mit Glutin und Chondrin einen Weg abgeben.

Was die Erscheinungen bei Anwendung metallischer Elektroden betrifft, so kann man die Unbeständigkeit des Stromes, wenn unpolarisirbare Elektroden nicht frei von dem Elektrolyten umspült sind, sondern dieser in den Capillarräumen eines Bausches seiner Beweglichkeit beraubt ist, zwar zunächst so auffassen, als verschliesse sich der Strom gleichsam selber die Thüre durch seine kataphorische Wirkung, indem er die an die Anode grenzende Lage des Bausches austrockne. Damit stimmt es, dass Anpressen des Bausches an [die Anode den Strom auf Augenblicke wiederherstellt. Unerklärt bleibt aber dabei, dass der Strom auch unbeständig ist, wenn nur der Kathode ein Bausch anliegt. Man kann nur muthmaassen, dass dabei Aehnliches vorgeht, wie wenn bei frei umspülten Elektroden deren eingetauchte Fläche zu klein im Verhältniss zur Stromstärke ist. Bei dem Eiweiss wird der Vorgang noch dadurch verwickelt, dass die von der Zersetzung der Salze des Eiweisses stammend-

den Anionen und Kationen sich in's Spiel mischen, wie sich dies in der Beschaffenheit des Ein- und Austrittsendes ausspricht. Dass die kegelförmige Anschwellung sich hier nicht durch Umlegen der [888] Wippe von dem alten an das neue Eintrittsende verlegen lässt, rührt gewiss davon her, dass die alkalische Flüssigkeit nicht mehr hinlänglich der kataphorischen Wirkung gehorcht. Die Unregelmässigkeiten, welche die positiveren Metalle zeigen, bleiben vollends räthselhaft.

Unter solchen Umständen gebrach es mir vor der Hand an jedem Fingerzeig, um diese Untersuchung zu gutem Ende zu führen, und ich habe um so mehr geglaubt, sie auf sich beruhen lassen zu dürfen, als mit der Einsicht, dass der äussere secundäre Widerstand auf rein örtlicher Wirkung an der Grenze der zuleitenden Theile der Vorrichtung und der feuchten porösen Körper beruht, die Erscheinung überhaupt das allgemeine Interesse eingebüsst hat, das ihr anfangs zuzukommen schien. Nun löst sich das Problem, welches sich uns darin darbot, zu ebenso vielen Einzelaufgaben mehr untergeordneter Art auf, wie sich Zusammenstellungen von Elektrolyten denken lassen, womit man die Bäusche und den porösen Körper tränken kann. Es ziehen uns unter diesen Aufgaben nur noch diejenigen an, deren Behandlung verspricht, zugleich die Bedingungen der electrophysiologischen Versuche unmittelbar aufzuklären. Ich habe mich deshalb auch nicht weiter bemüht, die Art und Weise zu zergliedern, wie der äussere secundäre Widerstand am Eintrittsende anderer feuchter poröser Körper entsteht.

Nur über den äusseren secundären Widerstand, den mit verdünnter Schwefelsäure getränkte Bäusche zwischen den gewöhnlichen Zuleitungsbäuschen annehmen (s. oben S. 87), habe ich noch Versuche angestellt. Ich dachte mir nämlich, im Sinn obiger Theorie, dass hier, wo der Elektrolyt im feuchten porösen Körper besser leitet, also langsamer wandert, als der in den Bäuschen, der äussere secundäre Widerstand seinen Sitz statt am Eintritts- vielmehr am Austrittsende haben werde. Ich führte deshalb den Strom der Säule einem balkenförmigen Schwefelsäure-Bausch durch Keilbäusche zu, und rückte, nachdem der Strom sich selber so stark wie möglich geschwächt hatte, bald den Eintritts-, bald den Austrittsbausch, und zwar deren jeden bald nach Innen, bald nach Aussen von der Stelle. Das Verrücken beider Bäusche nach Aussen brachte eine Schwächung, das Verrücken beider nach Innen eine Verstärkung des Stromes [889] hervor, allein die Stromveränderung, welche dem Verrücken des Eintrittsbausches entsprach, übertraf in beiden Fällen die, welche dem des Austrittsbausches folgte. Jene Voraussicht fand sich also nicht bestätigt, und auch hier erscheint, wie schon oben S. 89 gezeigt wurde, das Eintrittsende als Sitz des secundären Widerstandes. Inzwischen ist

wohl der Vorgang hier ein ganz anderer als beim Eiweiss. Offenbar hatte der Schwefelsäurebausch in der ganzen Umgebung des Eintrittsbausches, d. h. auch nach Aussen davon, wo gar kein Strom hingelangt, grösseren Widerstand angenommen, als in der des Austrittsbausches. Ich vermuthete, dass dies von der thermischen Wirkung des Stromes herrührt. Der ganze Bausch wird nämlich sehr heiss, und man sieht demgemäss den Strom anfangs stets erst eine Zeit lang ansehnlich wachsen, bis die Stromabnahme erfolgt, die wir als Entwicklung äusseren secundären Widerstandes aufgefasst haben. Das vom Eintrittsbausch aus in den Schwefelsäurebausch eindringende Kupfersalz krystallisirt dort aus, verklebt die Lagen des Bausches mit einander und überzieht seine Oberfläche mit einem weisslichen Anfluge. Dies trockene Salz scheint es mir zu sein, welches den äusseren secundären Widerstand im Fall des Schwefelsäurebausches bedingt.

Ob der oben S. 105 erwähnte muthmaassliche Temperaturunterschied des Ein- und Austrittsendes nicht vielleicht auch eine Rolle bei Erzeugung des äusseren secundären Widerstandes spiele, muss ich dahingestellt sein lassen.

§. XI. Noch Einiges über den inneren secundären Widerstand.

Wir sind jetzt aller Wahrscheinlichkeit nach in den Stand gesetzt, unserer Kenntniss des inneren secundären Widerstandes noch Einiges hinzuzufügen. Das Mittel dazu wird uns in Aussicht gestellt durch die Entdeckung der Möglichkeit, feuchten porösen Körpern den Strom zuzuführen, ohne dass äusserer secundärer Widerstand sich einmische. Beim Eiweiss wird dies, wie wir gefunden haben, dadurch erreicht, dass man es von der Kupferlösung der Zuleitungsbäusche durch Kochsalz-Hilfsbäusche trennt. Es steht aber zu vermuthen, und findet sich glücklicherweise bestätigt, dass dieselbe Anordnung uns auch in Be- [890] zug auf ähnliche feuchte poröse Körper den gleichen Dienst leisten werde.

Bringt man zwischen jene Hilfsbäusche ein Prisma aus einer gekochten Kartoffel geschnitten, oder einen gekochten Begoniastiel, so zeigt sich in der That, dass der äussere secundäre Widerstand beseitigt ist. Die Ablenkung erscheint wegen der thermischen Wirkung des Stromes in stetigem Wachsen begriffen, und erreicht erst spät einen beständigen Werth. Legt man um, so kommt das Scalenbild sehr nahe in derselben Lage, meist in etwas grösserer Ablenkung, wieder zur Ruhe; langsames Wachsen findet nicht statt. Stellt man den gleichen Versuch mit den frischen Gewebetheilen an, so sinkt die Ablenkung sofort, und nähert

sich allmählich einer unteren Grenze, wie vorher einer oberen. Dem Umlegen folgt langsames Wachsen bis zu einem gewissen Punkte, dann erneutes Sinken, u. s. w. Es ist kein Grund vorhanden, anzunehmen, dass an der Grenze der frischen Pflanzengewebe und der Kochsalzlösung sich secundärer Widerstand einstelle, wenn dies nicht mit den gekochten der Fall ist. Ueberdies lässt sich dessen Ausbleiben so darthun, dass man den Strom durch Keilbäusche zuführt und zeigt, wie das Verrücken weder des Ein- noch des Austrittsbäusches anders auf die Stromstärke wirke, als durch Veränderung der Länge der zwischen beiden begriffenen Strecke. Die Schwankungen, die der Strom in den frischen Pflanzengewebe zwischen Kochsalzlösung zeigt, sind also nur zu erklären durch einen inneren secundären Widerstand dieser Gewebe, dessen Dasein somit versprochenermaassen (s. oben S. 95) noch auf einem vierten Wege beglaubigt ist.

Bei dieser Versuchsweise hat man Gelegenheit zu bemerken, was wegen des äusseren secundären Widerstandes früher nicht sicher anging, dass die Schwankungen des Stromes in Folge des inneren secundären Widerstandes, je länger man sie beobachtet, um so kleiner werden.

Jetzt kann es keine Schwierigkeit mehr haben, die Frage nach dem Einfluss der Stromdichte auf diesen Widerstand, die uns oben S. 99 ff. vergeblich beschäftigte, zu erledigen. Man braucht dazu nur zwischen die Kochsalz-Hilfsbäusche abwechselnd ein Kartoffelprisma von grossem, und ein solches von kleinem [891] Querschnitt zu bringen, indem man zugleich dafür sorgt, dass die ursprüngliche Stromstärke in beiden Fällen die gleiche, oder mit dem dickeren Prisma etwas grösser sei als mit dem dünneren. Fallen alsdann die Schwankungen der Stromstärke mit dem dickeren Prisma absolut kleiner aus als mit dem dünneren, so kann dies nur daher rühren, dass der dichtere Strom in letzterem einen stärkeren inneren secundären Widerstand entwickelt. Ich habe diesen Erfolg mehrmals deutlich beobachtet, wobei ich es bequem fand, gewissermaassen als Rheostat, um damit die Stromstärke beständig zu erhalten, einen Stab aus Modellirthon zwischen Bäuschen im Kreise zu haben, dessen Dimensionen sich leicht jeden Augenblick ändern lassen.

Wie schon oben S. 95 bemerkt wurde, ist gegen den bis jetzt gelieferten Beweis der Abwesenheit des inneren secundären Widerstandes in vielen feuchten porösen Körpern einzuwenden, dass dieser Beweis mittels eines Stromes geführt wurde, der durch den äusseren secundären Widerstand sehr geschwächt war. Immer würde ein bedeutender Unterschied in dieser Beziehung zu Gunsten der frischen Pflanzengewebe bestehen bleiben. Denn diese Gewebe leiten um so viel schlechter als z. B. das Eiweiss, dass der durch den äusseren secundären Widerstand auf das

Äusserste geschwächte Strom in einem Eiweissprisma noch immer grössere Dichte besitzt als in einem Kartoffelprisma von gleichen Maassen. Allein es wäre möglich, dass mit Kochsalz-Hülfsbäuschen sich jetzt Spuren des inneren secundären Widerstandes da entdecken liessen, wo sie mit den Kupfersalz-Zuleitungsbäuschen vermisst wurden.

Bei den gekochten Pflanzengewebetheilen ist dies indess nicht eingetroffen, und ebensowenig bei dem Eiweiss, in Bezug worauf der entscheidende Versuch sich schon oben S. 106 angestellt findet. Ist ein Eiweissprisma zwischen Kochsalz-Hülfsbäuschen dem Strom ausgesetzt, so folgt dem Umlegen der Wippe kein langsames Wachsen; also ist kein innerer secundärer Widerstand da. Dies ist nämlich die Gestalt, welche jetzt hier der Umkehrversuch annimmt, der oben S. 94. 95 als für das Dasein des inneren secundären Widerstandes entscheidend erkannt wurde, indem bei der Geringfügigkeit der inneren Polarisation das Bedenken nicht stattfand, dem wir oben S. 109, [892] wo es sich um Polarisation metallischer Elektroden handelte, allerdings Gehör geben mussten. Man kann aber auch, wenn man vollends sicher gehen will, den Umkehrversuch in seiner ursprünglichen Form beibehalten. Auf beiderlei Art habe ich mich überzeugt, dass auch unter dem Einfluss des durch äusseren secundären Widerstand ungeschwächten Stromes der zwanziggliedrigeren GROVE'schen Säule, Sehne, Rückenmark und Muskelfleisch vom Rinde, letzteres längs der Faser sowohl als senkrecht darauf durchströmt, keinen inneren secundären Widerstand annehmen.

Nun aber erhebt sich eine Frage von wesentlichem Interesse. Die Pflanzengewebe büssen durch Kochen die Empfänglichkeit für den secundären Widerstand ein. Das todte Holz, die im Papier und der Pappe verarbeitete Pflanzenfaser nehmen keinen solchen Widerstand an. Die thierischen Gewebe, die wir bisher darauf geprüft haben, waren zwar so frisch, wie man sie aus dem Schlachthause bekommen kann, da sie aber von Warmblütern stammten, unstreitig als todt anzusehen. Es ist also die Möglichkeit da, dass thierische Gewebe, die noch im Besitz ihrer Lebenseigenschaften verharren, jenes Widerstandes fähig seien. Unterstützt wird diese Vermuthung durch die Wahrnehmung, dass Muskeln, ganz wie Kartoffeln und Begoniastiele, durch Kochen sehr an Leitungsgüte zunehmen. Obwohl es vielleicht nicht unthunlich wäre, Versuche über den inneren secundären Widerstand an lebenden Warmblütern, ja am Menschen selbst, anzustellen, habe ich mich in dieser Rücksicht bisher auf die uns zunächst angehenden Muskeln und Nerven des Frosches beschränkt.

Das beste Versuchsobject, was die Muskeln betrifft, wird durch die Gruppe der beiden ziemlich parallelfaserigen starken Muskeln des Ober-

schenkels, des Adductor magnus und Semimembranosus Cuv., geboten. Man lässt dem oberen Ende der Gruppe die Symphyse, dem unteren das obere Ende der Tibia, und spannt die Muskeln in der früher¹ von mir beschriebenen kleinen Spannvorrichtung wagerecht so stark aus, dass bei [893] Zuckungen keine in Betracht kommende Verschiebung der Muskeloberfläche an den ihr anzulegenden Kochsalz-Keilbäuschen stattfinden kann. Es ist deshalb zweckmässig, den zwischen dem Adductor magnus und dem Semimembranosus gelegenen, aus zwei kurzen Köpfen bestehenden Semitendinosus Cuv. zu entfernen. Denn wenn man den langfaserigen beiden anderen Muskeln die oben bezeichnete Spannung ertheilt, läuft man Gefahr, den Semitendinosus so stark zu spannen, dass er entweder rasch abstirbt,² oder gar zerreißt. Die Schneiden der Keilbäusche bekleidet man, um das Anätzen zu verhindern, mit Rücksicht auf die lange Dauer der Versuche, mit doppelten Eiweisshäutchen. Man legt der Muskelgruppe die Schneiden innerhalb der Elfenbeinplatten der Spannvorrichtung, und letzteren so nahe wie möglich an. Dazu ist es vortheilhaft, dem Keilbausch auf dem Zuleitungsbauisch die umgekehrte Lage von der gewöhnlichen zu geben, wie sie Fig. 5 (s. oben S. 89) zeigt, nämlich die, wobei die Abschrägung des Keiles nicht nach der hinteren, sondern nach der vorderen Seite des Zuleitungsbauisches sieht. Zwischen den Kochsalz-Keilbäuschen des Hauptstromes legt man der anderen Seite der Muskelgruppe die gleichfalls mit doppelten Eiweisshäutchen bekleideten Schneiden der mit schwefelsaurer Zinkoxydlösung getränkten Keilbäusche der Hilfskette an.

So kann man nunmehr mit den lebenden Muskeln die nöthigen Versuche anstellen, um zu erfahren, ob sich in deren Innerem secundärer Widerstand entwickle, oder nicht. Es zeigt sich, dass der Hauptstrom, abgesehen von der thermischen Verminderung des Widerstandes, beständig bleibt, er stamme von fünf oder von zehn GROVE'schen Gliedern, welche hier, wegen des kleineren Querschnittes, gewiss eine gleiche Dichte erzeugen, wie zwanzig in den bisherigen Versuchen. Umlegen bringt, bei nur kleiner Gliederanzahl der Säule, einen leichten positiven Ausschlag hervor, der von innerer Polarisation herrührt, und dem kein langsames Wachsen folgt. Den Hilfsstrom findet man, unter Berücksichtigung der inneren Polarisation (s. oben S. 95. 96) und der Erwärmung der Muskeln [894] durch den Hauptstrom, nach dem Durchgang des letzteren so stark wie vorher. Nach dem Oeffnen des Hauptstromes steigt der Hilfsstrom nicht an. Ob der Hauptstrom in den Muskeln auf- oder absteige,

¹ Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 67. Taf. I. Fig. 86. 87.

² Ebendas. S. 70.

oder quer durch eine grössere Muskelmasse, z. B. durch die Dicke der beiden Oberschenkel, fliesse, ist für den Erfolg gleichgültig. Nach den Versuchen waren meist die Muskeln noch zuckungsfähig.

Was die Nerven betrifft, so ist man natürlich an die Ischiadnerven gewiesen. Man bereitet sich rasch deren acht, legt sie mit ihren centralen und ihren peripherischen Enden zusammen, so dass sie ein Bündel bilden, welches der Austrocknung hinreichend lange widersteht, und spannt sie wagrecht zwischen zwei an einem Glasstabe verschiebbaren, passend geformten Korkstücken aus, auf deren Oberfläche man sie mit Insectennadeln feststeckt. Dann legt man ihnen ganz wie den Muskeln die beiden Paare von Keilbäuschen an. Der Erfolg ist der nämliche, wie bei den Muskeln, nur dass die Störungen durch innere Polarisation minder fühlbar sind.

Es ergibt sich also schliesslich, dass Muskeln und Nerven inneren secundären Widerstand im Leben so wenig wie im Tode in merklichem Grade annehmen, und die frischen Pflanzengewebetheile sind nach wie vor die einzigen feuchten porösen Körper, die ihn uns gezeigt haben.

§. XII. Was sich zur Zeit über die Natur des inneren secundären Widerstandes sagen lasse.

Es würde übrig bleiben über die Natur der Erscheinung, wenn es angeht, eine Vermuthung aufzustellen. Leider sind uns die Flügel hier noch viel mehr als beim äusseren secundären Widerstande beschnitten.

Zunächst nämlich ist zu bemerken, dass das Mikroskop in den dem Strome der zwanziggliederigen Grove'schen Säule unterworfenen Pflanzengewebe durchaus keine Veränderung zeigt, die als Ursache des secundären Widerstandes zu deuten wäre. Ich habe vergeblich danach gesucht bei der Kartoffel, der Mohrrübe, der Petersilienwurzel und dem Begonia-stiel. Das Einzige, was sich darbietet, ist gelegentlich die merkwürdige, von Hrn. JÜRGENSEN beschriebene Bewegung fester Theilchen in der [895] dem Strom entgegengesetzten Richtung.¹ Ich habe diese namentlich in sehr auffallender Weise an den Stärkekörnchen im Inneren der Kartoffelzellen gesehen, welche, wo sie hinreichend lose lagen, mit der vollkommensten Regelmässigkeit, sobald der Strom geschlossen wurde, sich an die Eintrittswand drängten, sobald er umgelegt wurde, sich nach der neuen Eintrittswand begaben, kurz mit der Wippe, so zu sagen, hin und her pendelten; so dass man so gewiss, wie aus der Ablenkung der

¹ REICHERT's und DU BOIS-REYMOND's Archiv für Anatomie und Physiologie u. s. w. 1860. S. 673.

Magnetnadel, die Richtung des negativen Stromes aus seiner anaphorischen Wirkung auf die festen Theilchen würde bestimmen können.

Hier also gebricht es uns von vorn herein an jedem Anhaltspunkt, um daran eine Erklärung der Erscheinung zu knüpfen. Man kann nun zwar leicht mehrere Vermuthungen darüber aufstellen, wie der Strom innerhalb eines feuchten porösen Körpers einen Widerstand hervorrufen könne. Man kann sich z. B. den inneren secundären Widerstand als in dem nämlichen Verhältniss zur inneren Polarisation denken, wie den Uebergangswiderstand an der Grenze metallischer Elektroden zur Polarisation dieser letzteren. Ich erwähne diese Hypothese nur, weil sie mich zu einer Zeit, wo ich noch nicht im Stande war ihre Unhaltbarkeit zu durchschauen, zu einem Versuch veranlasste, dessen nutzlose Wiederholung, wenigstens in derselben Form, ich gern Anderen ersparen möchte.

Ich tränkte eine ansehnliche Masse Platinschwamms, deren Benutzung ich der Güte des Hrn. Dr. QUINCKE verdankte, mit destillirtem Wasser, ferner Holzkohle mit derselben Flüssigkeit oder mit Kochsalzlösung, setzte sie in passender Weise einem starken Strom aus, in dessen Kreise sich die Busssole befand, und versuchte ob es gelingen werde, beim Umkehren des Stromes in den feuchten porösen Körpern, langsames Wachsen der Stromstärke zu beobachten. Dies wäre unter gewissen Voraussetzungen zu deuten gewesen auf Verschwinden des Uebergangswiderstandes, und hätte für das Dasein eines solchen einen mehr unmittelbaren Beweis abgegeben, als die bisher vorhandenen. [896] Ich bekam aber mit Sicherheit nichts zu sehen, als die gewaltigen Wirkungen der gewöhnlichen Polarisation.

Jene Hypothese scheidet, wie jetzt leicht ersichtlich, erstens an dem Mangel an Proportionalität zwischen innerer Polarisation und innerem secundären Widerstande, zweitens daran, dass dieser Widerstand bis jetzt nur am frischen Pflanzengewebe beobachtet ist. Letzterer Umstand bricht überhaupt den Stab allen solchen Vermuthungen hinsichtlich des inneren secundären Widerstandes, die auf beliebige, mit Elektrolyten getränkte Capillar-Aggregate passen. Es ist vielmehr klar, dass es hier zunächst einer Annahme bedarf, wodurch wenigstens diese Art feuchter poröser Körper vorweg ausgeschlossen werde. Eine solche Annahme würde jetzt z. B. sein, dass der innere secundäre Widerstand auf der häufigen Wiederholung der Bedingungen des äusseren secundären Widerstandes im Inneren eines Körpers beruhe, insofern man nämlich als allgemeinste Vorbedingung des äusseren secundären Widerstandes irgend welche Discontinuität der Leitung hinstellen kann. Allein es möchte schwer sein, in den frischen Pflanzengewebe eine sich oft wiederholende Discontinuität der Leitung zu entdecken, welche sich erstens auch nur einigermassen dem vergleichen

liesse, was wir zur Erzeugung des äusseren secundären Widerstandes als nöthig erkannt haben, und welche sich zweitens nicht auch in den des inneren secundären Widerstandes unfähigen Thiergeweben nachweisen liesse.

Der Fingerzeig endlich, den man darin hätte sehen können, dass die Pflanzengewebe, wenn sie durch Kochen die Fähigkeit einbüssen, inneren secundären Widerstand anzunehmen, zugleich besser leitend werden, hat seine Bedeutung dadurch verloren, dass auch die Muskeln durch Kochen an Leitungsgüte gewinnen, ohne darum im Zustande des Lebens inneren secundären Widerstandes fähig zu sein.

§. XIII. Anwendung der Erfahrungen über den secundären Widerstand auf die electrophysiologischen Versuche.

Doch kümmert uns der schlechte Erfolg dieser theoretischen Bemühungen für jetzt nicht. Für uns ist, was den secundären Widerstand betrifft, Alles damit gewonnen, dass wir die Muskeln [897] und Nerven von dem Verdacht gereinigt haben, damit behaftet zu sein. Es wäre dadurch, bei unzähligen Gelegenheiten, den thierisch-electrischen und electrischen Reiz-Versuchen eine Verwickelung mehr aufgebürdet worden, welcher wir nun glücklich überhoben sind.

Um so mehr Beachtung verdient bei manchen dieser Versuche der äussere secundäre Widerstand. Gleich den todten Geweben der Warmblüter sind die lebenden Muskeln und Nerven des Frosches dafür empfänglich; ja die Kleinheit der Flächen, die sie stets nur der Berührung bieten, lässt sie sogar in hohem Grade so erscheinen.

Wird der Strom von zehn bis zwanzig Grove'schen Gliedern durch mit schwefelsaurer Kupferoxydlösung getränkte Keilbäusche der wie oben S. 119 aufgestellten Muskelgruppe zugeführt, so findet man ihn fast unmittelbar nach der Schliessung in raschem Sinken begriffen, und es bleibt zuletzt nur wenig davon übrig. Wo der Eintrittsbäusch den Muskeln anlag, bemerkt man eine blaugrüne, verhärtete Stelle, die der Würfung beim Eiweiss entspricht. Eiweisshäutchen wie Thonschilder sind unvermögend dem Sinken Einhalt zu thun. Unter dem Einfluss des Stromes durchdringt das Salz bald den Thon, die Eiweisshäutchen aber werden, wie sich erwarten liess, selber ein Sitz secundären Widerstandes. Rückt man am Austrittsbäusch, oder entfernt man dessen Eiweisshäutchen, so bleibt Alles beim Alten. Rückt man am Eintrittsbäusch, so erfolgt eine Hebung der Stromstärke, jedoch nur um einen Theil des Verlustes, den sie durch Entwicklung des secundären Widerstandes erlitt. Ihren ursprünglichen Werth erlangt sie erst wieder, mit anderen Worten, der übrige Theil des secundären Widerstandes wird erst beseitigt, wenn man

den Eintrittsbauisch, indem man ihn verrückt, zugleich von seinen Eiweisshäutchen befreit.

Noch mit nur drei GROVE'schen Gliedern erfolgen diese Erscheinungen, nur minder scharf ausgeprägt, langsamer verlaufend, und nicht selten in der Art unregelmässig, dass nur wenn der eine Bauisch dem Strome zum Eintritt dient, secundärer Widerstand erscheint, bei der anderen Richtung nicht, ein Verhalten, welches wir beim Eiweiss künstlich zu erzeugen vermochten (s. oben S. 103). Mit zwei Gliedern sind nur noch Spuren [898] vom secundären Widerstande da, mit einer einfachen Kette ist der Strom beständig, wenn man von der inneren Polarisation absieht.

Ganz ähnliche Erfolge beobachtet man an den Nerven; wenn sie gleiche Länge mit den Muskeln haben, wegen ihres geringeren Querschnittes, trotz der kleineren Berührungsflächen, jedoch erst bei grösserer Gliederzahl der Säule. Endlich die schwefelsaure Zinkoxydlösung verhält sich auch hier, wie wir dies schon beim Eiweiss erfahren haben, gleich der Kupferlösung.

Aus diesen Thatsachen fliesst die wichtige Regel, dass wenn man Muskeln oder Nerven beständige Ströme von einiger Stärke zuzuführen wünscht, man bei Gefahr, secundären Widerstand zu erwecken, und ganz abgesehen von der der Anätzung, die thierischen Theile nicht unmittelbar mit der Metallsalzlösung der unpolarisirbaren Combination berühren darf, deren man sich zur Zuleitung bedient. Ebenso wenig darf man sich den mit solchen Lösungen getränkten Bäuschen anvertrauen, nachdem sie mit Eiweisshäutchen bekleidet sind. Nicht einmal auf die von Hrn. PFLÜGER¹ angegebenen Eiweissröhren in der Form, wie er sie angewendet hat, dürfte unbedingter Verlass sein. Das Gerinnsel, welches sich an der Grenze des Eiweisses und der Metallsalzlösung bildet, kann, wie wir oben S. 108 gesehen haben, der Sitz eines sehr ansehnlichen secundären Widerstandes werden.

Durch diesen Umstand würde die Anwendbarkeit der unpolarisirbaren Elektroden eine sehr empfindliche Beschränkung erleiden, wenn nicht die vorigen Untersuchungen uns auch sogleich das Mittel böten, ihm erfolgreich zu begegnen, freilich auf Kosten der Einfachheit der Anordnung. Dies Mittel haben wir bereits oben S. 119. 120 in Gebrauch gezogen. Es besteht darin, die thierischen Theile oder das sie vor der Anätzung schützende Eiweiss, es möge nun aufgeweichte Blase befeuchten oder in Röhren enthalten sein, von der Metallsalzlösung der unpolarisirbaren Combination durch eine Schicht [899] einer der Salzlösungen zu trennen, die wir oben S. 107 als unfähig erkannt haben, in Berührung

¹ Untersuchungen über die Physiologie des Electrotonus. Berlin 1859. S. 98 ff.

mit den Thiergeweben und mit Eiweiss secundären Widerstand zu erzeugen, am bequemsten von Kochsalzlösung.

Auf dem mit schwefelsaurer Zinkoxydlösung getränkten Zuleitungsbausch der verquickten Zinkgefässe wird also, um Muskeln oder Nerven den Strom mehrerer GROVE'schen Glieder ohne Besorgniss vor Störungen durch den secundären Widerstand zuzuführen, ein mit Eiweisshäutchen bekleideter Kochsalz-Keilbausch anzubringen sein. Man trennt ihn von dem Zuleitungsbausch, um diesen vor Verunreinigung zu schützen, durch einen mit Zinklösung getränkten Sicherheitsbausch und ein mehrere Millimeter dickes Blatt Modellirthon. Da auch verdünnte Kochsalzlösung, ja sogar Brunnenwasser, keinen secundären Widerstand giebt, und da ein geringer Unterschied in der Concentration der Kochsalzlösung der beiden Keilbäusche hier von keiner Bedeutung sein kann, so braucht die Lösung nicht gesättigt, sondern nur eben so concentrirt zu sein, wie es die Rücksicht auf die Leitungsfähigkeit des Kreises erheischt. Dies hat den Vortheil, einerseits die Anätzung der thierischen Theile, andererseits die Verunreinigung der Zinkbäusche, mehr zu verzögern, als dies beziehlich die Eiweisshäutchen und die Thonschicht allein thun würden.

Die oben S. 119. 120 beschriebenen Versuche genügen, um die gute Wirkung dieser Maassregeln darzuthun. Bei deren Befolgung bleibt, abgesehen von der inneren Polarisirung und von der Verminderung des Widerstandes durch die thermische Stromwirkung, auch wohl durch das Eindringen der Salzlösungen in Thon und Eiweisshäutchen, die Stromstärke beständig, selbst bei zwanzig GROVE'schen Gliedern im Kreise, und bei noch so langer Dauer der Schliessung. Es zeigt sich somit auf doppeltem Wege, das eine Mal bei sehr schwachen Strömen, und Metallsalz-Keilbäuschen, das andere bei beliebig starken Strömen und Kochsalzbäuschen, dass die hier in Rede stehenden, uns vorzugsweise interessirenden Combinationen dem hartgesottenen Eiweiss an Empfänglichkeit für den secundären Widerstand doch glücklicherweise nicht ganz gleichkommen. [900]

Wo man grosse Widerstände nicht zu scheuen braucht, und deshalb die PFLÜGER'schen Eiweissröhren anwenden kann, wird man das Eiweiss gleichfalls noch durch Kochsalzlösung von der schwefelsauren Zinkoxydlösung zu trennen haben, die jetzt wohl, in Verbindung mit verquickten Zinkelektroden, an Stelle der Kupferlösung mit Kupferelektroden treten wird, wie Hr. PFLÜGER sie anwendete. Dies wird, wenn man die PFLÜGER'sche Einrichtung sonst unverändert beibehalten will, einfach so geschehen können, dass man das heberförmige, an beiden Enden mit Blase überbundene Rohr, welches einerseits in das weite Ende der Eiweissröhren, andererseits in das die metallische Elektrode enthaltende Gefäss

mit der entsprechenden Metallsalzlösung taucht, statt gleichfalls mit dieser Lösung, mit Kochsalzlösung füllt. Es trifft sich dabei glücklich, dass sogar die gesättigte Kochsalzlösung (Dichte 1·207) gut auf der gesättigten schwefelsauren Zinkoxydlösung (Dichte 1·441) schwimmt. In der Blase entsteht kein secundärer Widerstand; an der Grenze des Eiweisses und der Nerven und Muskeln kann dies doch wohl ebensowenig der Fall sein.

Bei den thierisch-electrischen Versuchen, insofern es sich dabei nur um Ableitung der in den thierischen Theilen erzeugten Ströme, nicht zugleich um Erregung dieser Theile auf elektrischem Wege handelt, dürfte der äussere secundäre Widerstand so wenig in Betracht kommen, als, wie wir jetzt wissen, der innere. Immerhin kann es als ein glücklicher Zufall erscheinen, dass fast in allen bisherigen Versuchen eine zuleitende Flüssigkeit angewendet wurde, welche vollends den Verdacht auf eine Einmischung des secundären Widerstandes ausschliesst, die Kochsalzlösung. So z. B. giebt es eine räthselhafte Erscheinung, die bei den Versuchen mit künstlichem Querschnitt fortwährend auftritt, und die man, wenn nicht jener Umstand wäre, wohl geneigt sein könnte, dem secundären Widerstande zuzuschreiben. Dies ist die schwächende Wirkung, welche die zunächst an den Querschnitt grenzende Schicht nach kurzer Zeit auf den Strom ausübt, so dass die Entfernung dieser Schicht eine bedeutende Hebung der Stromstärke bewirkt.¹ In der That entspricht, [901] wie man sieht, in Bezug auf den Muskel- oder den Nervenstrom der künstliche Querschnitt dem Eintrittsende des durchströmten Eiweissprisma's. Nach dem, was wir über den secundären Widerstand ermittelt haben, hat es jetzt kaum den Anschein, als ob dieser Muthmaassung noch irgend ein Werth beizulegen wäre. Ich habe mich ausdrücklich davon überzeugt, dass der künstliche Querschnitt nicht etwa eine besondere Empfänglichkeit für den secundären Widerstand besitzt.

Der Kochsalz-Keilbäusche, der PFLÜGER'schen Eiweissröhren mit der bezeichneten Abänderung, wird man sich bedienen, wo es immer geht,

¹ Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 714; — Bd. II. Abth. I. S. 19. 145. 150. 179. 283. 557; — Abth. II. S. 108. 113. 122. — [Dies wurde seitdem von mir mittels der unpolarisirbaren Elektroden als eine durch Polarisation bewirkte Täuschung erkannt, und im Januar 1862 in dem Abdruck gegenwärtiger Abhandlung in MOLESCHOTT's Untersuchungen u. s. w. (a. a. O. S. 409) als solche bezeichnet. Ausführlicher findet sich diese Täuschung besprochen in den Abhandlungen: Ueber das Gesetz des Muskelstromes mit besonderer Berücksichtigung des M. gastrocnemius des Frosches, im Archiv für Anatomie u. s. w. 1863. S. 662, und: Ueber die Erscheinungsweise des Muskel- und Nervenstromes bei Anwendung der neuen Methoden zu deren Ableitung, ebenda, 1867. S. 306. 307. — S. diese Abhandlungen im zweiten Bande dieser Sammlung.]

um den Nerven und Muskeln Ströme zuzuführen. Doch können Fälle eintreten, wo man, z. B. durch die räumlichen Verhältnisse einer Anordnung, genöthigt ist, metallische Elektroden anzuwenden. Alsdann liegt, um sowohl die ursprünglichen Ungleichartigkeiten, als die Polarisation, unschädlich zu machen, der Rathschlag nahe, bei so grossen Widerständen im Kreise, dass man die gewünschte Stromstärke erhält, so grosse elektromotorische Kräfte aufzubieten, dass jene Störungen dagegen verschwinden. Wo es sich nur darum handelt, rasch vorübergehende Einwirkungen zu erzielen, so dass man Inductionsschläge anwenden kann, ist dieser Rathschlag untadelhaft, da er nicht einmal die Unbequemlichkeit bedingt, die stets aus der Handhabung vielgliederiger Säulen erwächst, sondern nur gewisse Rücksichten wegen der unipolaren Zuckungen auferlegt. Sollen aber die Ströme anhaltend und zugleich beständig sein, so sind durch die Versuche, die wir oben mit Eiweiss zwischen verschiedenen Arten metallischer Elektroden angestellt haben, die Aussichten für diesen Fall sehr getrübt. Die Wiederholung dieser Versuche mit Nerven und mit Muskeln, die ich auf Korkstegen mittels Insectennadeln über verschiedene Elektrodenpaare, von Platin, Kupfer, Zink, verquicktem Zink, ausspannte, ergab unmittelbar, dass an Beständigkeit des Stromes unter diesen Umständen nicht zu denken sei, und zwar nicht, wie man bisher glaubte, wegen der Ungleichartigkeiten oder der Polarisation, die man leicht gegen die elektromotorische Kraft der Säule verschwinden machen kann, sondern wegen des secundären Widerstandes. Bei den positiveren Me- [902] tallen stellen sich überdies leicht Unregelmässigkeiten gleich den oben S. 110 beschriebenen ein.¹

§. XIV. Ueber Elektrotransfusion am erregbaren Muskel.

Bei den vorigen Versuchen drängte sich mir an den Muskeln fortwährend die merkwürdige Erscheinung auf, die kürzlich Hr. KÜHNE beschrieben hat,² und ich kann nicht umhin, hier schliesslich Einiges darüber zu sagen.

Wird ein dünner regelmässig gefasertes Froschmuskel, etwa der *M. sartorius*, über die Platin- oder Zink-Elektroden, oder über die Keilbausch-Schneiden einer fünf- bis zwanziggliederigen GROVE'schen Säule

¹ [Ueber den secundären Widerstand hat Hr. Prof. MUNK weitere Untersuchungen angestellt, durch welche meine Ergebnisse in mehreren Punkten berichtigt und erweitert worden sind. S. Archiv für Anatomie u. s. w. 1873. S. 241 ff.]

² Ueber das PORRET'sche Phänomen am Muskel. Archiv für Anatomie u. s. w. 1860. S. 542.

ausgespannt, so sieht man nach der Schliessungszuckung eine fluthende Bewegung, gleich einem Strömen des Muskelbündelinhaltes, in der Richtung des positiven Stromes. Wellenartige Verdickungen kurzer Strecken einzelner Bündel oder Bündelgruppen laufen mit grosser Geschwindigkeit von der Anode zur Kathode. Diese Geschwindigkeit ist noch nicht gemessen, auch ist noch nicht ermittelt, welche Beziehung sie mit der Stromstärke verknüpfe. Die Bewegung ändert ihre Richtung augenblicklich mit der des Stromes. Hält man die Kette dauernd geschlossen, so wird die Bewegung schwächer und hört zuletzt ganz auf. Ausserdem sieht man bei der Schliessung die Muskelmasse selber scheinbar der Kathode zustürzen, bei der Oeffnung davon zurückweichen, beim Umlegen von der einen zur anderen Elektrode hinfahren. Lässt man den Muskel zwischen metallischen Elektroden lange in derselben Richtung durchströmen, so findet sich da, wo er die Kathode berührte, eine gallertartige Anschwellung, während er nach der Anode zu verjüngt, dicht unterhalb ihrer aber weiss und undurchsichtig erscheint.

In diesen dauernden Veränderungen, denen auch ein abgestorbener Muskel unterliegt, erkennt man leicht die vereinte Wirkung der kataphorischen Thätigkeit und der Elektrolyse wieder, wie wir ihr beim Eiweiss begegnet sind (s. oben S. 104—106). Es fragt sich aber, was von jenen bald vorübergehenden Bewe- [903] gungerscheinungen am noch erregbaren Muskel zu halten sei. Hr. KÜHNE fasst, wenn ich ihn recht verstehe, in seiner vorläufigen Mittheilung diese Erscheinungen so auf, als sei das scheinbare Strömen während des Säulenschlusses der Ausdruck des PORRET'schen Phänomens am Muskel. Er betrachtet die einzelnen Wellen, die von der Anode nach der Kathode laufen, als ebenso viele Ueberführungsacte, wodurch contractile Substanz an den negativen Pol befördert werde. Beim Oeffnen kehre diese Substanz zurück, die Rückbewegung könne durch die überführende Kraft des entgegengesetzten Stromes unterstützt werden, u. s. f.

Ich kann dieser Deutungsweise meines geehrten Freundes nicht beistimmen. Von vorn herein ist dagegen zu sagen, dass das scheinbare Strömen zu rasch geschieht, um die geringe Anschwellung an der Kathode als dessen Ergebniss gelten zu lassen. Dann sieht man nicht, weshalb die kataphorische Wirkung stets nur einzelne Theile einzelner Bündel, anstatt gleichzeitig die ganze intrapolare Muskelmasse, ergreife; auch nicht, warum mit der Erregbarkeit zugleich die Bewegung aufhöre, da die gröberen physikalischen Verhältnisse dieselben bleiben, die bei der Ueberführung allein in Betracht kommen. Seit Hrn. KÜHNE's Mittheilung ist durch Hrn. JÜRGENSEN bekannt geworden, dass die festen Körper, unter anderen auch Froschblutzellen, statt wie Elektrolyte mit dem posi-

tiven Strome, gegen ihn wandern. Danach ist zu erwarten, dass auch die Disdiaklasten stromaufwärts wandern werden.

Ich habe mir, jedoch vergeblich, viel Mühe gegeben, eine mikroskopische Anschauung von dem Vorgange im Muskel bei jenem scheinbaren Strömen zu gewinnen. Am besten gelang mir dies noch am *Platysma myoïdes* des Frosches. Der Muskel war mit Blutserum befeuchtet und mit einem Deckgläschen zugedeckt. Die Vergrößerung wechselte von der 15- bis 500fachen, die Zahl der Säulenglieder von fünf bis zwanzig. Der Strom wurde dem Muskel einerseits durch ein anhängendes Stück Kehlhaut, andererseits durch ein Stück des geraden Bauchmuskels zugeführt. Stets indess stellten sich die Wellen nur als rasch über das Gesichtsfeld fliegende Schatten dar, und ich halte es für unmöglich das Verhalten der Querstreifen darin anders als etwa bei augenblicklicher Beleuchtung zu erkennen, was seine [904] grossen Schwierigkeiten haben möchte. Hingegen ist es leicht, während das scheinbare Strömen noch fort dauert, an solchen Strecken der Bündel, die gerade ruhig liegen, sich zu überzeugen, dass auch bei der ansehnlichen Stromdichte, wie zwanzig GROVE'Sche Glieder sie in dem kurzen und dünnen *Platysma* erzeugen, keine Bewegung der contractilen Substanz stattfindet. Hat das Strömen aufgehört, so erscheint das Gesichtsfeld vollends ruhig, da doch die Elektrotransfusion ihren Gang geht.

Ich habe auch Schnitte erstarrten Leimes, geronnenen Eiweisses, und Speckhaut von Pferdeblut wiederholt unter dem Mikroskop betrachtet, während ein lebhaftes Ueberführen durch sie hindurch stattfand, jedoch nichts von Bewegung darin unterscheiden können, als gelegentlich, z. B. an rothen und weissen Blutzellen in Lücken der Speckhaut, das JÜRGENSEN'Sche Phaenomen.

Meine Ueberzeugung ist demnach, dass auch im erregbaren Muskel, wenn er der Sitz der kataphorischen Wirkung wird, nichts stattfindet als ein unsichtbarer Ortswechsel von Wassertheilchen in der Richtung des Stromes; unsichtbar weil nirgends die zum Unterscheiden einer sich verschiebenden Grenze nöthige optische Discontinuität eintritt. Das scheinbare Strömen halte ich für den Ausdruck örtlicher Zusammenziehungen einzelner Bündel oder Bündelgruppen, welche von der Anode zur Kathode laufen. Man könnte sich denken, dass diese Zusammenziehungen an der Anode örtlich erregt werden, und sich nur scheinbar nach der Kathode hin ausbreiten, weil nach der anderen Richtung kein Muskel vorhanden sei. Diese Vermuthung trifft nicht zu. Bringt man die Kathode an dem einen Ende des Muskels, die Anode in dessen Mitte an, so sieht man wohl in der an die Anode grenzenden extrapolaren Muskelhälfte ein

heftiges Wogen der Muskelbündel, aber kein scheinbares Strömen wie in der intrapolaren Hälfte.

Was die Bewegungen im Augenblicke des Schliessens, Oeffnens und Umlegens der Kette betrifft, so ist vor Allem zu erinnern, dass es sich dabei nicht um die contractile Substanz allein handelt, sondern um den ganzen Muskel. Sarkolemma, Perimysium, Alles nimmt an der Bewegung Theil. Wenn man an zwei Punkten der intrapolaren Strecke in der Nähe der [905] Elektroden von unten her Fäden durch den Muskel zieht, die mit einem Knoten versehen sind, um das völlige Durchgleiten zu verhindern, jeden Faden über die benachbarte Elektrode zurückschlägt, und ihn an einem meiner Zuckungstelegraphen¹ befestigt, so hebt sich beim Umlegen der Wippe stets die Fahne, woran der in der Nähe der neuen Anode befestigte Faden zieht. Steckt man durch den Muskel in gleichen Abständen eine Anzahl Borsten, oder bestreut man ihn mit einem farbigen Pulver, Russ oder Drachenblut, so sieht man deutlich, wie sich beim Schliessen der Muskel scheinbar nach der Kathode hinschiebt, beim Oeffnen zurückprallt u. s. f.

Der erste Eindruck, den ich von dieser Erscheinung erhielt, war der, dass der Muskel an der Kathode in örtlichen Tetanus gerathe. Da er zwischen seinen beiden Endpunkten ausgespannt ist, so muss, wenn eine Strecke des Muskels sich verkürzt, der ruhende Theil ausgedehnt werden, und scheinbar sich nach dem Orte der Zusammenziehung hin verschieben, in Wirklichkeit aber dorthin gezogen werden. Ich glaubte um so mehr, dass dies die richtige Deutung sei, als bereits Beobachtungen anderer Forscher vorliegen, wonach bei unmittelbarer elektrischer Erregung des Muskels die Kathode eine bevorzugte Rolle spielen würde.² Allein jedenfalls sind die Dinge verwickelter. Verhielten sie sich nämlich einfach wie eben gesagt wurde, so müsste bei der Anordnung, wo die eine Elektrode die Länge des Muskels hälftet, wenn diese, statt wie vorher zur Anode, nunmehr zur Kathode gemacht wird, beim Schliessen das Verschieben nach der Kathode hin, beim Oeffnen das Zurückweichen von der Kathode fort in der extrapolaren wie in der intrapolaren Strecke stattfinden. Zu Anfang einiger Versuche schien mir dies auch wirklich der Fall zu sein, die Bewegung zu beiden Seiten der Kathode war beim Schliessen ziemlich symmetrisch auf die Kathode zu, beim Oeffnen davon fort gerichtet. Sehr bald aber konnte ich mir nicht ablängnen, dass

¹ S. unten, Abh. VIII. §. XV.

² Vergl. KÜHNE im Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 632; — Myologische Untersuchungen. Leipzig 1860. S. 128. — A. v. BEZOLD in den Monatsberichten der Berliner Akademie. 1860. S. 760 ff.

beim Schliessen die Muskelmasse in der Richtung von der Anode zur Kathode über letztere [906] fort wogte, und dass beim Oeffnen, als Rückschlag auf diese Bewegung, die extrapolare Muskelmasse nach der Kathode hinfuhr.

Eine vollständige Zergliederung dieser schwierigen Phaenomene liegt hier nicht in meinem Plan. Ich will mir nur die Frage stellen, ob zwischen Bewegungen, wie sie eben beschrieben wurden, und der Elektrotransfusion, ein Zusammenhang für jetzt denkbar sei. Diese Frage muss ich verneinen. Die Elektrotransfusion ist nicht an den Zustand des Lebens gebunden; sie hat mit Schliessung und Oeffnung nichts zu schaffen, sondern hält mit gleicher Stärke während des Säulenschlusses an. Die kataphorische Kraft haben wir bisher nur in Capillar-Aggregaten thätig gesehen, Elektrolyte vor sich hertreibend, denen eine benetzte Wand als Stützpunkt dient. Nichts berechtigt uns noch zu der Annahme, die eine völlige Umgestaltung unserer Vorstellungen über den elektrischen Strom bedingen würde, dass er hier die Masse des Muskels, gleich einem Balle, von der Anode zur Kathode werfe. Dazu kommt jetzt abermals die JÜRGENSEN'sche Thatsache, welche auch deren Bedeutung sei, wonach die Substanz des Muskels, wenn der Strom ihr wirklich einen Anstoss ertheilte, im Gegensatz zum Wasser in seinen Poren, vielmehr zur Anode streben würde.
