III. Ueber die Abhängigkeit des galvanischen Leitungswiderstandes von der Stromstärke und die Edlund'sche Theorie der Diaphragmaströme; von E. Dorn in Breslau.

1.

In der Schrift „*Théorie des phénomènes électriques*“¹⁾, giebt Hr. Edlund eine zusammenhängende Darstellung seiner Anschauungen von der Natur der Elektrizität und eine auf dieselbe gegründete Theorie verschiedener Erscheinungen auf diesem Gebiete.

Insbesondere weicht seine Auffassung des galvanischen Leitungswiderstandes von der bisher verbreiteten ab. Während nämlich nach letzterer der Widerstand von der Stromstärke unabhängig ist, setzt Hr. Edlund denselben der Stromstärke proportional²⁾. Da die bisherigen experimentellen Resultate zu einer Entscheidung über diesen Punkt nicht ausreichen, unternahm Hr. Edlund eine besondere Untersuchung zu diesem Zweck³⁾.

Für die Stromstärke in einem Stromkreise, von dem sich ein Theil mit einer Geschwindigkeit h_1 bewegt,ergiebt seine Theorie:

$$i_1 = \frac{E \pm r_0 \delta a h_1}{R_0 + r_0} \quad . \quad . \quad . \quad (1),$$

worin:

E die elektromotorische Kraft der Kette,

r_0 der Widerstand des bewegten Theiles für die Stromstärke 1 („principaler Widerstand“ nach Hrn. Edlund, übereinstimmend mit dem Widerstande der älteren Auffassung),

R_0 der principale Widerstand des ruhenden Theiles,

1) *Théorie des phénomènes électriques*. Stockholm 1874.

2) *l. c.* Seite 22 ff.

3) Diese Ann. Bd. 156, S. 251 ff.

δ die Masse freien Aethers in der Volumeneinheit des Leiters,

a der Querschnitt des bewegten Theiles.

Das positive oder negative Zeichen gilt, je nachdem die Bewegung des betreffenden Stromtheiles im Sinne des durch E erzeugten Stromes oder im entgegengesetzten Sinne geschieht.

Um einen Stromtheil beweglich zu machen, wendet Hr. Edlund Flüssigkeiten an, welche leicht mit bedeutender Geschwindigkeit durch Röhren hindurchgetrieben werden können.

In Beziehung auf die Anordnung der Versuche verweise ich auf die Abhandlung von Hrn. Edlund¹⁾ und bemerke nur, daß sie so eingerichtet waren, daß nur die *Änderung der Stromstärke*, welche dem Term

$$\pm \frac{r_0 \delta a h_1}{R_0 + r_0}$$

entspricht, eine Ablenkung des Galvanometers zur Folge hatte.

Als Resultat verschiedener Versuchsreihen, die mit destillirtem Wasser, Alkohol, 24 Volumprocente Wasser enthaltend, und Wasser aus der Wasserleitung der Stadt angestellt wurden, giebt Hr. Edlund an, daß keine Ablenkung zu bemerken war, wenn $E = 0$, also kein Elektromotor sich im Stromkreise befand, daß aber, sowie ein solcher eingeschaltet wurde, eine Ablenkung in dem von der Theorie geforderten Sinne auftrat. Er schließt hieraus auf die Richtigkeit seiner Voraussetzung, daß nämlich der Widerstand der Stromstärke proportional sey.

2.

Gegen diesen Schluß sind von Hrn. Helm Einwendungen erhoben worden²⁾, der in der That von anderen Voraussetzungen ausgehend eine etwas abweichende For-

1) Diese Ann. Bd. 56, S. 253.

2) Diese Ann. Bd. 157, S. 645 ff.

mel entwickelt, welche sich den experimentellen Resultaten Edlund's anpaßt.

Ich will nun zeigen, daß man unter den von Hrn. Helm gemachten Voraussetzungen *genau* die Edlund'sche Formel erhält, wobei ich auf die Ableitung eingehen muß, da Hr. Helm nur eine genäherte Formel ohne dieselbe giebt.

Um die Länge l des bewegten Leiterstückes zurückzulegen, braucht die Elektrizität bei der Geschwindigkeit C die Zeit $\frac{l}{C}$. Ist die Geschwindigkeit des bewegten Leiterstückes c , so hat sich dasselbe während dessen um $\frac{lc}{C}$ fortbewegt, also hat die Elektrizität im Leiter — beide Bewegungen als gleichgerichtet vorausgesetzt — nur die Strecke $l\left(1 - \frac{c}{C}\right)$ zurückgelegt. War nun der Widerstand für den Zustand der Ruhe w , so wird derselbe für den Fall der Bewegung

$$w\left(1 - \frac{c}{C}\right)$$

seyn, und man hat nach dem Ohm'schen Gesetz

$$J = \frac{E}{w_1 + w\left(1 - \frac{c}{C}\right)} \quad . \quad . \quad . \quad 2),$$

worin w_1 der Widerstand des ruhenden Theiles des Stromkreises ist.

Setzt man noch $w + w_1 = W$ und entwickelt nach Potenzen von $\frac{c}{C}$, so erhält man bei Fortlassung von höheren Potenzen die von Hrn. Helm angegebene Formel

$$J = \frac{E}{W} \left(1 + \frac{w}{W} \frac{c}{C}\right).$$

Hr. Helm hat aber hiebei augenscheinlich nicht beachtet, daß C von J und dem Querschnitte des bewegten Leiterstückes abhängt.

Unter C kann nämlich offenbar nicht verstanden werden die Geschwindigkeit, mit der eine elektrische Erregung sich fortpflanzt, denn diese ist von der Ordnung der

Lichtgeschwindigkeit, also $\frac{c}{C}$ verschwindend klein, so daß ein Unterschied der Stromstärke für einen ruhenden und bewegten Leiter nicht wahrnehmbar wäre.

Vielmehr kann mit C nur diejenige Geschwindigkeit gemeint seyn, mit der sich die Elektrizität im Leiter bewegt¹⁾. Diese aber ist mit der Stromstärke direct und dem Querschnitte umgekehrt proportional, also:

$$C = \gamma \frac{q}{J},$$

wo q eine Constante bedeutet. Man erhält dann aus 2):

$$J = \frac{E + \frac{w c q}{\gamma}}{w + w_1} \dots \dots \dots 3);$$

also, wenn man zu der Bezeichnung von Hrn. Edlund übergehend, w durch r_0 , w_1 durch R_0 , c durch h , q durch a ersetzt, gerade seine Formel 1), nur daß in letzterer die Bedeutung der Constanten klar hervortritt.

Hr. Helm hebt ferner²⁾ richtig hervor, daß, wenn die Formel 1) richtig wäre, durch Bewegung des Leiterstückes allein, auch ohne daß im Schließungsbogen elektromotorische Kräfte thätig wären, ein Strom erzeugt werden müßte. In der That, setzt man $E = 0$, so folgt:

$$i_0 = \pm \frac{r_0 \partial a h_1}{R_0 + r_0} \dots \dots \dots 4)$$

und nach der Versuchsanordnung von Hrn. Edlund hätte ohne einen Elektromotor *dieselbe* Ablenkung beobachtet werden müssen wie bei Einschaltung eines solchen.

Dieser Einwand trifft nach dem Obigen aber ebenso die streng durchgeführte Theorie von Hrn. Helm.

Nach der Entdeckung von Hrn. Quincke³⁾ erhält man einen galvanischen Strom, wenn man durch ein Thondia-phragma eine Flüssigkeit hindurchpreßt und die Flüssig-

1) Ueber diese beiden Geschwindigkeiten der Elektrizität s. Edlund *Théorie des phénomènes électriques*.

2) Diese Annalen Bd. 157, pag. 646.

3) Diese Annalen Bd. 107 u. 110,

keit vor und hinter dem Diaphragma leitend verbindet; ferner hat Hr. Zöllner gezeigt¹⁾, daß man auch das Diaphragma mit gleichem Erfolge durch eine enge Röhre ersetzen kann.

Da nun bei den Versuchen von Hrn. Edlund Flüssigkeiten mit bedeutender Geschwindigkeit durch enge Röhren getrieben wurden, so lag es nahe, das Auftreten eines Diaphragmenstromes zu erwarten, der sich freilich in gleicher Stärke zeigen müßte, gleichviel ob sonst eine elektromotorische Kraft im Stromkreise sich befindet oder nicht.

Hr. Edlund hat eine Theorie der Diaphragmenströme gegeben²⁾, seine Formel für die Stromstärke lautet (a. a. O. Seite 59, β)

$$i = \frac{\delta k l H}{m_1 + m_0}.$$

Hierin bedeutet (wenn wie bei der Zöllner'schen Versuchsanordnung n die Anzahl der Röhren = 1),

k den specifischen Widerstand der Flüssigkeit,

l die Länge der engen Röhre,

H die Geschwindigkeit der Flüssigkeit in derselben,

m_1 den principalen Widerstand in der engen Röhre

(derselbe ist $= \frac{kl}{a}$, wenn a der Querschnitt),

m_0 den principalen Widerstand des übrigen unbewegten Theiles des Stromkreises.

Die Richtung des Stromes soll mit der Richtung der Flüssigkeitsbewegung übereinstimmen.

Ersetzt man, um zu der hier gewählten Bezeichnung überzugehen, H , m_1 , m_0 resp. durch h_1 , r_0 , R_0 und schreibt für kl das gleichbedeutende $r_0 a$, so wird

$$i = \frac{r_0 \delta a h_1}{R_0 + r_0}$$

also identisch mit der Formel 4), welche bei Bewegung eines Theiles des Stromkreises die Stromstärke angiebt, wenn sonst keine elektromotorische Kraft thätig ist.

1) Diese Annalen Bd. 148.

2) *Théorie des phénomènes électriques* pag. 56 ff.

Also auch nach der Edlund'schen Theorie der Diaphragmenströme mußte man einen Diaphragmenstrom bei seinen Versuchen erwarten, und insbesondere auch in dem Falle, daß keine weitere elektromotorische Kraft thätig ist.

Hr. Edlund verwahrt sich ausdrücklich dagegen, einen Diaphragmenstrom beobachtet zu haben¹⁾ und bemerkt nicht, daß er sich dadurch mit seiner eigenen Theorie der Diaphragmenströme, sowie mit der von ihm entwickelten Formel 1) in Widerspruch setzt, und daß seine eigenen Beobachtungen die Theorie nicht bestätigen. Wahrscheinlich hielt er für nothwendig zur Erzeugung von Diaphragmenströmen, ein engeres Rohr zwischen zwei weitere einzuschließen und in diese erst die Elektroden einzusetzen²⁾, seine Ableitung bleibt aber, wie man sich leicht überzeugt, auch dann gültig, wenn man die Elektroden direct in die enge Röhre einführt.

Jedenfalls also — gleichgültig ob man die Edlund'sche Theorie adoptirt oder nicht — handelt es sich bei den Versuchen um Diaphragmenströme, und die Beobachtungsergebnisse werden geeignet seyn auch über letztere Aufschluß zu geben.

4.

Hr. Edlund behauptet³⁾, seine Theorie der Diaphragmenströme befinde sich in Uebereinstimmung mit den Resultaten der HH. Quincke und Zöllner.

Es scheint ihm danach ein Versuch des Ersteren entgangen zu seyn, wonach ein unreiner Alkohol beim Durchpressen durch einen Thoncyylinder einen Diaphragmenstrom *gegen* die Richtung der Flüssigkeitsbewegung ergab⁴⁾, während die Theorie von Hrn. Edlund die umgekehrte fordert. Uebrigens wurde derselbe Alkohol von dem elektrischen Strome auch gegen die Stromrichtung fortgeführt, während

1) Diese Annalen Bd. 156, pag. 271.

2) *Théorie des phénomènes électriques* pag. 59 u. 60.

3) Ebenda p. 59.

4) Diese Annalen Bd. 113, pag. 559 Ann.

fast alle andern Flüssigkeiten der Richtung des positiven Stromes folgten.

Die Versuche, welche nach der Methode von Hrn. Quincke angestellt sind, eignen sich sonst wenig zu einer Entscheidung über die Edlund'sche Theorie, da man die Weite der Poren in dem Diaphragma nicht bestimmen kann, und secundäre Processe, wie Nebenschließungen im Diaphragma u. s. w. die Erscheinung compliciren.

5.

Nach Methoden, welche von den Edlund'schen nur unwesentlich abwichen, habe ich eine längere Reihe von Beobachtungen angestellt, um die Richtigkeit der Formel 1 (resp. 4) oder, was auf dasselbe hinauskommt, der Edlund'schen Theorie der Diaphragmenströme zu prüfen.

Die erste Methode (schematisch dargestellt in Figur 1) entspricht der zweiten von Hrn. Edlund. *ab* ist eine

Fig. 1.

Röhre, die mit der Flüssigkeit gefüllt ist, resp. von derselben durchströmt wird. In die seitlichen Ansätze *c* und *d* sind mit Hilfe von Kork und Siegellack die Elektroden eingesetzt; *G* ist das Galvanometer, *S* die Inductionsrolle eines Siemens'schen Inductionsapparates, in der nach Belieben schnell aufeinanderfolgende alternirende Inductionsströme gleicher Intensität erzeugt werden konnten. Die Stärke derselben ist jedenfalls ausreichend, denn als eine kleine Funkenstrecke eingeschaltet war, so daß nur der Oeffnungsstrom überging, betrug die Ablenkung mehr als

100 Scalentheile. Ruht der Inductionsapparat, so ist $E = 0$ zu setzen, ist er in Thätigkeit, so giebt er für sich allein auch keine Ablenkung, also sollte nach 1) in beiden Fällen, wenn die Flüssigkeit sich bewegt, die Stromstärke seyn

$$i_1 = \frac{r_0 \delta \alpha h_1}{R_0 + r_0}.$$

Da mir für die erste Edlund'sche Methode ein geeigneter Differentialmultiplikator nicht zu Gebote stand, wendete ich statt desselben die Wheatstone'sche Brücke an in einer Weise, die durch Fig. 2 veranschaulicht wird. Die

Fig. 2.

Röhre ab trägt jetzt drei seitliche Ansätze cde mit eingesetzten Elektroden. G ist das Galvanometer, U_1 und U_2 Systeme von Widerstandsrollen (Siemens'sche Universalwiderstandskasten), welche bis je 12220 Siemens'sche Einheiten einzuschalten erlaubten. K ist ein Unterbrecher, E ein Chromsäureelement, dessen elektromotorische Kraft etwa 2 Daniell betrug.

Sind die Entfernungen cd und de gleich — was fast genau der Fall war — und in U_1 und U_2 beiderseits gleiche

Widerstände eingeschaltet, so geht bekanntlich durch die G enthaltende Brücke kein Strom (falls nämlich die Flüssigkeit in der Röhre ruht).

Wird die Flüssigkeit in Bewegung gesetzt, so findet man leicht (ohne Unterschied ob das Element sich bei E befindet oder der mittlere Zweig lediglich aus einem Drahte besteht oder endlich ganz fehlt) für die Stromstärke in dem Zweige, welcher das Galvanometer enthält:

$$i = \frac{r_0 \delta a h_1 \cdot R_1}{R R_1 + (r_0 + \varrho_0) (R + R_1)} \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad 5),$$

wo:

r_0 , δ , a , h_1 die früher angegebene Bedeutung besitzen,

R_1 der gesammte Widerstand der Strecke ADB ,

R der Widerstand der Strecke AGB ,

ϱ_0 der Widerstand in cA und eB (im Wesentlichen also von der ruhenden Flüssigkeit in den Ansätzen) ist.

Da nun bei sämtlichen Versuchen der erste Term des Nenners gegen den letzten verschwindend klein ist, so kann statt 5) geschrieben werden:

$$i = \frac{r_0 \delta a h_1}{(r_0 + \varrho_0) \left(1 + \frac{R}{R_1}\right)} \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad 5').$$

Der Strom i soll eine solche Richtung besitzen, als wäre in der bewegten Flüssigkeit eine elektromotorische Kraft in der Bewegungsrichtung thätig.

Das angewendete Galvanometer war ein Siemens'sches mit aperiodisch schwingender Nadel und etwa 34 000 Windungen, dessen Empfindlichkeit durch einen Astasirungsmagneten etwa auf das 10fache gesteigert wurde. Weiter zu gehen erlaubte die starke Dämpfung nicht. Der Widerstand des Galvanometers betrug etwa 3416 Siemens'sche Einheiten. Während der ganzen Untersuchung blieben Galvanometer, Astasirungsvorrichtung und Ablesefernrohr unberührt. Ein Meyerstein'sches Galvanometer, das eine stärkere Astasirung zuließ, war für den vorliegenden Zweck weit weniger brauchbar.

Um die Flüssigkeit durch die Röhre zu treiben, diente folgende Vorrichtung: Von den 3 Hälsen einer etwa

10 Liter haltenden Woulf'schen Flasche war einer mit einer Bunsen'schen Wasserluftpumpe, der zweite mit einem Manometer, der dritte mit der Röhre durch dickwandige Gummischläuche verbunden. Der nach der Röhre führende Schlauch konnte durch einen Quetschhahn abgesperrt werden. An das andere Ende der Röhre war mit einem Stückchen Gummischlauch eine zweite gebogene Röhre befestigt, welche in eine etwa 6 Liter fassende Flasche mit der Flüssigkeit eintauchte. Der Druck betrug gewöhnlich etwas über 500^{mm}, und änderte sich nur wenig während eines Versuches.

Es wurden 3 Röhren angewendet. Bei Apparat I war zwischen zwei weiten Glasröhren mit Kork und Siegellack eine Röhre von 64^{mm},6 Länge und 1^{mm},01 Durchmesser eingesetzt. Die Elektroden von Platin befanden sich in seitlichen Ansätzen der weiteren Röhren.

Apparat II war eine Röhre von 338^{mm} Gesamtlänge mit 3 seitlichen Ansätzen, deren Abstand 109^{mm} betrug. Der Durchmesser der Röhre war 4^{mm}. In den seitlichen Ansätzen befanden sich die Elektroden, Golddrähte mit kleinen angenieteten Goldplättchen.

Apparat III war analog eingerichtet, nur war die Gesamtlänge 483^{mm}, der Röhrendurchmesser 5^{mm},8, der Abstand der Ansätze 166^{mm} und die Elektroden waren von Platin.

Die Querschnitte von II und III entsprachen also etwa den von Hrn. Edlund gewählten, die Längendimensionen waren größer.

6.

Um Ungleichheiten der Elektroden zu beseitigen, bewährte sich noch am besten, dieselben kurze Zeit in Königswasser zu tauchen, sorgfältig mit destillirtem Wasser zu waschen und über einer reinen Alkoholflamme zu glühen. Sie wurden dann in die Röhre eingesetzt und untereinander verbunden, nachdem die Röhre mit der Flüssigkeit gefüllt

war. Eine Behandlung mit heißer concentrirter Schwefelsäure war weit unwirksamer.

Vor den eigentlichen Beobachtungen wurde die etwa noch vorhandene Ablenkung in Folge der Ungleichheit der Polplatten bestimmt und meistens die Röhre so eingeschaltet, daß sie der zu erwartenden Ablenkung durch die Flüssigkeitsbewegung entgegengesetzt war.

Bei einer Beobachtung wurde gewöhnlich zuerst die Ruhelage des Galvanometers, dann der Stand desselben bei ruhender Flüssigkeit, bei bewegter Flüssigkeit, dann wieder bei ruhender und schließlich die Ruhelage des Galvanometers beobachtet. Für die Rechnung wurde das arithmetische Mittel der correspondirenden Ablesungen verwendet und so eine etwaige geringe Aenderung der Ruhelage eliminirt.

Mitunter wurde auf eine Beobachtung der Ruhelage verzichtet, um nicht durch Unterbrechung die Ungleichheit der Polplatten stärker hervortreten zu lassen.

Vor Beginn und gleich nach Aufhören der Flüssigkeitsbewegung wurde der Druck am Manometer abgelesen, ebenso der Stand der Flüssigkeit in der Flasche, um die wegen der Flüssigkeitssäule erforderliche Correction des Druckes anbringen zu können. Für die Rechnung benutzt wurde der Druck am Schlusse, da er ja dem Moment der Ablesung entspricht.

Um die Beobachtungen einer Reihe untereinander vergleichbar zu machen, sind sie auf den mittleren Druck reducirt, indem die Ablenkung demselben proportional gesetzt wurde.

Wo es nicht ausdrücklich bemerkt ist, ist zu einer ganzen Versuchsreihe immer der Inhalt der 6 Liter-Flasche ausreichend gewesen, so daß die Flüssigkeit während derselben vollkommen identisch blieb.

Um für den Widerstand der angewandten Flüssigkeit eine annähernde Bestimmung zu haben, wurde — wenigstens bei den späteren Beobachtungen — nach Schluß jeder Beobachtungsreihe der Reductionsfactor des Galvano-

meters mit Benutzung einer bekannten elektromotorischen Kraft (ein Daniell'sches Element) und einer Nebenschließung von gemessenem Widerstande ermittelt und dann die Ablenkung gemessen, welche dasselbe Element mit der Röhre und dem Galvanometer zu einem Stromkreise vereinigt gab. Man findet hieraus leicht den Widerstand der Flüssigkeit in der Röhre. Eine Ablenkung um einen Scalentheil entsprach etwa dem Strom, den ein Daniell bei 700 Millionen Quecksilbereinheiten Widerstand liefert.

7.

Die Beobachtungen beziehen sich auf verschiedene Proben von destillirtem Wasser, Wasser der Wasserleitung, sehr verdünnte Kupfervitriollösung, eine Mischung von Brennspritus mit Wasser und einen unreinen absoluten Alkohol.

Ferner sind einige Versuche gemacht, bei denen die innere Wandung der Röhre II mit einem Ueberzuge von Schellack und von Schwefelkrystallen versehen war. Um diese Ueberzüge herzustellen, ließ ich eine Lösung von Schellack in absolutem Alkohol respective von Schwefel in Schwefelkohlenstoff durch die Röhre laufen und entfernte das Lösungsmittel durch Hindurchsaugen von Luft mit der Wasserluftpumpe.

In nachstehender Tabelle sind die Beobachtungsergebnisse zusammengestellt, nicht chronologisch, sondern nach den Flüssigkeiten und Methoden geordnet.

Die Beobachtungsmethoden sind so bezeichnet:

- D* die erste von mir angegebene Methode ohne Inductionsströme (in denjenigen Fällen wo nicht auf *D* unmittelbar *DS* folgt, ist nur Röhre und Galvanometer zu einem Stromkreise vereinigt),
- DS* dieselbe, mit thätigem Inductionsapparat,
- W₀* die zweite Methode, wenn der Unterbrecher *K* offen,
- W* wenn er geschlossen, aber kein Element eingeschaltet war,
- WC* wenn ein Element eingeschaltet war.

Die Ablenkungen sind von dem Stande des Galvanometers bei ruhender Flüssigkeit an gerechnet, ein $+$ bedeutet, daß sie so erfolgen, als wäre in der Röhre eine elektromotorische Kraft im Sinne der Flüssigkeitsbewegung thätig, ein $-$ eine Ablenkung in entgegengesetztem Sinne.

Unter P ist die Ablenkung in Folge der Ungleichheit der Elektroden angegeben. Die unter einer Nummer zusammengefaßten Beobachtungen sind dicht hintereinander angestellt. Aenderungen der Empfindlichkeit des Galvanometers kommen also nicht in Betracht. c, d, e bedeuten die drei Elektroden, c die der offenen Flasche zugewandte.

(Hier folgt die Tabelle.)

Datum	No. des Versuchs	Apparat	Flüssigkeit	P	Mittlerer Druck	Anordnung des Versuchs	Zahl der Beobachtungen	Ablenkung	Mittlerer Fehler	Widerstand in Millionen Siemens-Einheiten	Bemerkungen
8. Juni	1	I	Dest. Wasser 1	— 0,68	559	D DS D	3 3 3	17,62 17,51 17,31	$\pm 0,82$ $\pm 0,64$ $\pm 0,12$	—	—
10. Juni	2	I	Dest. Wasser 1	unmerklich — 0,27	561	D DS D	3 4 4	14,29 13,32 13,23	$\pm 0,09$ $\pm 0,55$ $\pm 0,46$	—	—
13. Juni	3	I	Dest. Wasser 3	unmerklich	581	D DS D	5 4 4	14,79 14,57 14,29	$\pm 0,26$ $\pm 0,16$ $\pm 0,10$	—	—
26. Juni	4	I	Dest. Wasser 6 *	?	550	D	2	18,20	$\pm 0,86$	—	—
15. Juni	5	II	Dest. Wasser 4	— 0,13	528	D DS D	4 3 2	3,32 4,20 4,35	$\pm 0,28$ $\pm 0,12$ $\pm 0,07$	—	—
18. Juni	6	II	Dest. Wasser 5	— 0,65	532	D DS D	2 2 2	9,87 9,95 9,91	$\pm 0,29$ $\pm 0,31$ $\pm 0,01$	—	—
19. Juni	7	II	Dest. Wasser 5	— 0,17	531	D DS D	2 3 2	10,49 10,55 10,49	$\pm 0,02$ $\pm 0,11$ $\pm 0,17$	—	—
25. Juni	8	III	Dest. Wasser 5	— 0,61	509	D DS	4 1	4,78 4,99	$\pm 0,17$	—	—
26. Juni	9	III	Dest. Wasser 6	unmerklich	512,5	D DS	3 3	4,71 4,72	$\pm 0,12$ $\pm 0,25$	—	—
10. Juni	10	II	Dest. Wasser 2	unmerklich	500	W WC	2 3	4,95 4,65	$\pm 0,17$ $\pm 0,27$	—	—
18. Juni	11	II	Dest. Wasser 5	unmerklich	522	D W WC W	2 2 2 1	11,18 9,37 9,59 10,23	$\pm 0,31$ $\pm 0,35$ $\pm 0,06$	—	—
22. Juni	12	II	Dest. Wasser 5	$\left\{ \begin{array}{l} ce: \text{unmerklich} \\ cd: - 0,13 \\ de: - 0,13 \end{array} \right.$	510	D W WC	2 3 3	12,20 11,16 10,91	$\pm 0,16$ $\pm 0,15$ $\pm 0,29$	—	—
29. Juni	13	II	Dest. Wasser 6 Wasser d. Leitung	— 0,65 bedeutend und veränderlich	505	* D * D	3 3	11,31 4,50	$\pm 0,74$ $\pm 0,32$	—	—

In den mit * bezeichneten Versuchen wurde statt der 6 Liter-Flasche ein 2 Liter-Gefäß angewendet, das mehrmals gefüllt werden mußte.

Datum	No. des Versuchs	Apparat	Flüssigkeit	P	Mittlerer Druck	Anordnung des Versuchs	Zahl der Beobachtungen	Ablenkung	Mittlerer Fehler	Widerstand in Millionen Siemens-Einheiten	Bemerkungen
2. Juli	14	II	Dest. Wasser 6 Wasser d. Leitung	unmerklich anfangs + 4 abnehmend bis —	503	* D * D	3 3	10,28 4,19	$\pm 0,18$ $\pm 0,56$	1,43	
8. Juli	15	II	Wasser d. Leitung	+ 25 ?	470	D D	3 3	2,53 3,69	$\pm 0,18$ $\pm 0,36$	1,52	Röhre umgekehrt
9. Juli	16	II	Wasser d. Leitung (gelblich u. trübe)	+ 0,6 — 0,95 + 1,77	534	* D D D	4 4 4	4,25 3,05 3,49	$\pm 0,31$ $\pm 0,07$ $\pm 0,14$	1,45	Röhre umgekehrt Röhre in die erste Lage
13. Juli	17	II	Wasser d. Leitung	+ 0,67 — 0,35 + 0,42	507	D D D	5 4 2	3,87 5,32 4,27	$\pm 0,13$ $\pm 0,38$ $\pm 0,17$	1,51	Röhre umgekehrt Röhre in die erste Lage
23. Juli	18	II	Dest. Wasser 7 Kupfervitriol- lösung 1 ¹⁾	unmerklich	523	D D	3	4,65 unmerk.	$\pm 0,39$	1,61	
30. Juli	19	II	Dest. Wasser 8 Kupfervitriol- lösung 2 ¹⁾	— 0,17 + 0,90	525	D	2 3	8,35 1,62	$\pm 0,22$ $\pm 0,32$	3,84	
1. August	20	II	Dest. Wasser 9 Mischung mit Spiritus ²⁾	— 0,57	518	D	4 3	5,44 5,46	$\pm 0,24$ $\pm 0,37$	8,86	
3. August	21	II	Absoluter Alkohol 1 Derselbe mit etwas Wasser	+ 0,37 + 0,25	519 540	D • D	1 1	— 1,2 — 0,75		22,2	
4. August	22	II	Absoluter Alkohol 2	$\left\{ \begin{array}{l} ce: \text{unmerklich} \\ cd: - 2,45 \\ de: + 1,25 \end{array} \right.$	528	W WC WC	3 2 3	— 0,71 — 0,79 — 0,24	$\pm 0,18$ $\pm 0,15$ $\pm 0,08$	14,4	Der positive Pol des Elementes nach d gekehrt Element umgekehrt
5. August	23	II	Absoluter Alkohol 2	$\left\{ \begin{array}{l} ce: + 0,2 \\ cd: - 2,22 \\ de: + 2,45 \end{array} \right.$	509	W_0 W WC WC	2 1 2 2	— 0,77 — 0,51 — 0,26 — 0,65	$\pm 0,01$ $\pm 0,04$ $\pm 0,03$	16,5	Der positive Pol des Elementes nach d gekehrt Element umgekehrt
16. Juli	24	II	Dest. Wasser 6	unmerklich	501	D D	2 3	11,03 10,76	$\pm 0,30$ $\pm 0,26$	46,4	Ohne Schellacküberzug Mit Schellacküberzug
17. Juli	25	II	Dest. Wasser 6	+ 0,3	518	D	3	10,71	$\pm 0,24$	46,0	Neuer Schellacküberzug
6. August	26	II	Dest. Wasser 9	unmerklich + 1,52	515	D D	3 3	6,43 7,01	$\pm 0,11$ $\pm 0,19$	6,95	Reine Glaswand Schwefelüberzug

- 1) Die Kupfervitriollösung 1 wurde erhalten, indem zu dem Rest des destillierten Wassers eine gemessene Quantität einer concentrirten Lösung von bekanntem Gehalte zugesetzt wurden. 100 Grm. der Lösung 1 enthielten 3,1 Milligramm CuSO_4 . Die Kupfervitriollösung 2 wurde analog bereitet; hier kamen auf 100 Grm. der Lösung 1,6 Milligramm CuSO_4 .
- 2) Auf 100 Cubikcentimeter der Mischung kamen 9,34 Cubikcentimeter Spiritus.

8.

Die Beobachtungen zeigen zunächst im Widerspruche mit denen von Hrn. Edlund, daß auch dann eine Ablenkung eintritt, wenn kein Elektromotor sonst sich im Stromkreise befindet. Die Einschaltung eines solchen bringt keine Aenderung hervor, denn die Abweichungen von D und DS , resp. W und WC übersteigen nicht die Beobachtungsfehler (s. insbes. Versuch 5 bis 12).

Man könnte vielleicht einwenden, daß die Ablenkung bei den Versuchsanordnungen D und W von der elektromotorischen Kraft herrühre, welche durch die Ungleichheit der Polplatten in den Stromkreis eingeführt ist, und daß keine Ablenkung eintreten würde, wenn es gelänge, die Ungleichheit ganz zu beseitigen.

Dem gegenüber ist zunächst darauf hinzuweisen, daß bei mehreren Versuchen (9, 10, 11, 12 etc.) eine Ungleichheit der Polplatten nicht constatirt werden konnte.

Ferner war die Röhre meistens so angebracht, daß bei Flüssigkeitsbewegung eine entgegengesetzte Ablenkung eintrat, wie in Folge der Ungleichheit der Polplatten.

Wenn nun der Flüssigkeitsstrom eine solche entgegengesetzte Ablenkung zu überwinden vermag, wird man leicht zugeben, daß er auch eine Ablenkung zu erzeugen im Stande ist, wenn ursprünglich keine vorhanden war.

Wie man also nach den Versuchen von Hrn. Zöllner zu erwarten berechtigt war, und auch die Theorie von Hrn. Edlund fordert, entsteht meinen Beobachtungen zufolge durch die Flüssigkeitsbewegung eine elektromotorische Kraft unabhängig von sonstigen elektromotorischen Kräften im Stromkreise.

Im Uebrigen steht aber das Resultat meiner Beobachtungen durchgängig im Widerspruche mit der Theorie von Hrn. Edlund.

Zunächst ergab der absolute Alkohol ähnlich wie der von Hrn. Quincke (s. §. 4 dieser Abhandl.) eine Ablenkung entgegengesetzt der von der Theorie geforderten. (Versuch 21, 22, 23.)

Nach den Formeln 4 und 5') sollte seyn für die Versuchsanordnungen D und DS :

$$i_1 = \frac{r_0 \delta a h_1}{R_0 + r_0}$$

und für W und WC :

$$i = \frac{r_0 \delta a h_1}{(r_0 + r_0) \left(1 + \frac{R}{R_1}\right)}.$$

Es ist leicht zu übersehen, daß i_1 bei Anwendung desselben Apparates und gleichem h_1 für alle Flüssigkeiten identisch seyn müßte, solange der Widerstand der Drahtleitungen und des Galvanometers gegen den der Flüssigkeit verschwindet. Denn schreibt man

$$i_1 = \frac{\delta a h_1}{1 + \frac{R_0}{r_0}},$$

so ist derjenige Theil von $\frac{R_0}{r_0}$, der sich auf die Flüssigkeit in den seitlichen Ansätzen bezieht, constant, der auf den Rest bezügliche verschwindend.

Dasselbe gilt für i .

Da nun der Widerstand der Flüssigkeit wenigstens $1\frac{1}{2}$ Millionen Quecksilbereinheiten betrug, so war obige Bedingung stets erfüllt.

Im Widerspruch mit der hieraus gezogenen Folgerung weichen schon für die verschiedenen Sorten des destillirten Wassers die Ablenkungen bedeutend von einander ab in einer Weise, die nicht durch Aenderung des Reductionsfactors des Galvanometers mehr erklärt werden kann. (Vergl. insbes. Versuch 5 und andererseits 11, 12 etc.)

In den Versuchen 13 und 14 wurde ferner unmittelbar hintereinander destillirtes Wasser und Wasser der Leitung angewandt; bei letzterem sank die Ablenkung auf weniger als die Hälfte.

Ein analoges Verhalten zeigen die Versuche 18 und 19 bei Zusatz von Kupfervitriol.

Die Ablenkung steht augenscheinlich in keiner einfachen Beziehung zum Widerstande, sondern hängt auch von der

sonstigen Beschaffenheit der angewandten Flüssigkeit ab. Obwohl die Kupfervitriollösung 1 nahe denselben Widerstand hatte, wie das Leitungswasser, zeigte sie doch keine Ablenkung mehr, und Lösung 2 trotz des größeren Widerstandes eine geringere als das Leitungswasser.

Sehr überrascht war ich von dem Ergebniss der Versuche 24, 25, 26. Ein anderer Ueberzug der inneren Röhrenwand übte kaum einen merklichen Einfluss aus, was man nach den Versuchen von Hrn. Quincke über Diaphragmen von verschiedenen Stoffen, welche sehr verschiedene elektromotorische Kräfte ergaben¹⁾, nicht hätte erwarten sollen.

9.

Obwohl die Formel 1) für die Stromstärke in einem Stromkreise, von dem ein Theil sich bewegt, und die im Wesentlichen damit identische für die Diaphragmenströme mit den Beobachtungen von Hrn. Quincke und mir nicht übereinstimmt, so ist doch damit nach meiner Ansicht über die *Grundlagen* der Edlund'schen Theorie, insbesondere über seine Auffassung des galvanischen Widerstandes, nichts entschieden.

Denn die Formeln von Hrn. Edlund folgen aus seinen Grundanschauungen nicht mit zwingender Nothwendigkeit, vielmehr ist bei ihrer Herleitung ein sehr wesentlicher Umstand außer Acht gelassen, nämlich der elektrische Zustand der Flüssigkeit außerhalb der beiden Elektroden (wobei es gleichgültig ist, ob diese sich in der Röhre selbst oder in erweiterten Ansätzen befinden, wie bei der Zöllner'schen Versuchsanordnung).

Nach der Edlund'schen Theorie der Diaphragmenströme wird der freie Aether — dessen Bewegung eben der galvanische Strom seyn soll — durch die Bewegung der Flüssigkeit mit durch das Diaphragma (oder die enge Röhre) geführt, *aber diese ganze übergeführte Aethermenge*

1) Diese Annalen Bd. 110, S. 56.

kehrt durch den Verbindungsdraht zu der Elektrode vor dem Diaphragma zurück.

Wir hätten also vor und hinter dem Diaphragma eine unveränderliche Aethermenge, während in Folge des Flüssigkeitsstromes die Flüssigkeitsmenge vor dem Diaphragma ab- und hinter demselben zunimmt.

Vor dem Diaphragma wäre also eine größere Aethermenge als im normalen Zustande, also die Flüssigkeit positiv elektrisch, umgekehrt die Flüssigkeit hinter dem Diaphragma negativ elektrisch, welche elektrische Differenz sich *auch durch den Verbindungsdraht* ausgleichen und in demselben einen dem Diaphragmastrom entgegengesetzten Strom erzeugen müßte.

Diese Folgerung könnte man freilich durch die Annahme der freien Durchdringbarkeit aller Körper durch den Aether vermeiden, da aber die ganze Flüssigkeit bei den Versuchen von Isolatoren — Glas und Luft — eingeschlossen ist, hat auch diese Annahme etwas Mißliches, denn man sähe nicht ein, wie überhaupt ein Isolator existiren könnte.

Setzt man hingegen voraus, daß eine bewegte Flüssigkeit den in ihr enthaltenen freien Aether mit gleicher Geschwindigkeit fortführt, so würde in der Bewegung der Flüssigkeit *allein* nicht die Ursache der Diaphragmenströme gefunden werden können und die Bewegung eines Theiles des Stromkreises keine Aenderung der Stromstärke im unbewegten Theile zur Folge haben, auch wenn man mit Hrn. Edlund den Widerstand der Stromstärke proportional setzt.

Es sey der principale Widerstand (s. Figur 3) in cd , dE , Ec resp. r_1 , r_2 , r_3 , die Querschnitte dieser Stücke a_1 , a_2 , a_3 , die Geschwindigkeit des Aethers in ihnen h_1 , h_2 , h_3 . Die Geschwindigkeit der Flüssigkeit sey H , die elektromotorische Kraft E , die Masse des freien Aethers in der Volumeneinheit δ . Der Zustand sey stationär geworden, also muß in c gleichviel Aether zu- und abfließen.

Fig. 3.

Die fortfließende Aethermenge beträgt in der Zeiteinheit $\delta a_1 h_1$; wegen des Stromes in 3 fließt hinzu $\delta a_3 h_3$, und die Flüssigkeit bringt noch $\delta a_1 H$ dazu. Also:

$$\delta a_1 h_1 = \delta a_1 H + \delta a_3 h_3$$

und analog:

$$\delta a_1 h_1 = \delta a_1 h_2 + \delta a_1 H$$

$$\delta a_2 h_2 = \delta a_3 h_3.$$

Diese Gleichungen lassen sich in die Doppelgleichung zusammenfassen:

$$\delta a_1 (h_1 - H) = \delta a_2 h_2 = \delta a_3 h_3,$$

$\delta a_2 h_2$ und $\delta a_3 h_3$ sind die Stromstärken in 2 und 3, also der Widerstand in diesen Theilen nach Hrn. Edlund $\delta a_2 h_2 w_2$ resp. $\delta a_3 h_3 w_3$.

Da es beim Widerstande nur auf die relative Geschwindigkeit ankommt, beträgt derselbe in 1:

$$\delta a_1 (h_1 - H) w_1.$$

Indem man die Summe der Widerstände gleich der elektromotorischen Kraft setzt¹⁾, wird:

$$E = \delta a_1 (h_1 - H) w_2 + \delta a_2 h_2 w_2 + \delta a_3 h_3 w_3,$$

woraus mit Rücksicht auf die Doppelgleichung für die Stromstärke in den unbewegten Leiterstücken folgt:

$$\delta a_2 h_2 = i = \frac{E}{w_1 + w_2 + w_3},$$

1) *Théorie des phénomènes électriques* p. 29 ff.

also ebenso als wenn die Flüssigkeit ruhte. Die Stromstärke im bewegten Theile ist allerdings eine andere.

10.

Meine Untersuchungen haben also ergeben:

- 1) Im Widerspruch mit den Beobachtungen von Hrn. Edlund tritt bei Bewegung der Flüssigkeit ein Strom auf auch ohne Vorhandenseyn einer sonstigen elektromotorischen Kraft.
- 2) Hrn. Edlund's theoretische Formel, welche mit seiner Formel für die Diaphragmenströme identisch ist, stimmt nicht mit den Beobachtungsergebnissen überein.
- 3) Hingegen ist hiedurch über die Grundlage der Theorie, insbesondere über die Proportionalität des Widerstandes mit der Stromstärke, nichts entschieden.

Breslau, den 13. August 1876.

Nachschrift.

In dem mehrere Monate nach Abschluß dieser Arbeit erschienenen 8^{ten} Ergänzungsbande dieser Annalen macht Hr. Chwolson (s. S. 153) die Bemerkung, daß die von Hrn. Edlund (diese Annalen Bd. 156, S. 251 ff.) beobachtete Ablenkung von einem Diaphragmenstrom herrühren könne.

Dieselbe hätte dann aber, entgegen der Angabe von Hrn. Edlund (S. 271), auch ohne Einschaltung des Elektromotors auftreten müssen, und eben dieser Umstand, den Hr. Chwolson übersehen zu haben scheint, veranlaßte mich zu vorstehender Untersuchung, welche von den Edlund'schen abweichende Beobachtungsergebnisse gegeben hat.

Breslau, den 5. Januar 1877.