

**V. Ueber die in freien Wasserstrahlen auftretenden electromotorischen Kräfte;
von Julius Elster.**

(Inaugural-Dissertation.)

§ 1. Einleitung.

Seit Entdeckung der sogenannten Diaphragmenströme durch Prof. Quincke¹⁾ sind eine Reihe von Erscheinungen bekannt geworden, welche mit diesen offenbar im engsten Zusammenhange stehen, ohnedass es jedoch gelang, die gemeinsame Ursache der bei gewissen Flüssigkeitsbewegungen auftretenden electromotorischen Kräfte zu ermitteln. So zeigte Zöllner²⁾, dass ein dem Diaphragmenstrom analoger Strom auch entstehe, wenn man Wasser durch ein enges Glasrohr hindurchpresst, dass mithin zur Entstehung eines electrischen Stromes bei einer durch eine Röhre strömenden Flüssigkeit das Diaphragma nicht absolut nothwendig sei. Diese Beobachtung wurde dann von Dorn³⁾ und Edlund⁴⁾ dahin erweitert, dass selbst bei Anwendung von Röhren mit grossem Querschnitt auch electromotorische Kräfte beobachtet werden, welche der eines Daniell'schen Elements nahezu gleichkommen.

In den meisten Fällen wurde als strömende Flüssigkeit destillirtes Wasser benutzt und stets ein electrischer Strom im Sinne der Flüssigkeitsbewegung wahrgenommen. Nur zweimal wurde ein Strom, welcher gegen die Flüssigkeitsbewegung gerichtet war, beobachtet, und zwar einmal, als Quincke⁵⁾ einen Alkohol von bestimmter Concentration durch ein Diaphragma hindurchpresste, und dann, als Dorn⁶⁾ eine Glasröhre, deren innere Wandung mit einem Wachsüberzug

1) Pogg. Ann. CVII. p. 37. 1859 und CX. p. 56. 1860.

2) Pogg. Ann. CXLVIII. p. 640. 1872.

3) Pogg. Ann. CLX. p. 56. 1877.

4) Wied. Ann. I. p. 191. 1877.

5) Pogg. Ann. CXIII. p. 559. Ann. 1861.

6) Wied. Ann. V. p. 39. 1878.

versehen war, in Anwendung brachte, und Wasser durchströmen liess.

Obwohl diese beiden Beobachtungen dafür sprechen, dass die capillarelectrischen Ströme von der Natur der bewegten Flüssigkeit und der Beschaffenheit des Körpers, mit welchem die Flüssigkeit in Berührung ist, abhängig sind, so ist dieses doch noch eine offene Frage.

Zwar haben schon Clark¹⁾ und Haga²⁾ nachgewiesen, dass, wenn man ein capillares Glasrohr mit verschiedenen Substanzen überzieht, ganz voneinander verschiedene electromotorische Kräfte erhalten werden, wenn man unter sonst gleichen Bedingungen Wasser durch die Röhre hindurchpresst. Edlund hält die Versuche dieser Herren nicht für beweisend³⁾, sondern schreibt die Verschiedenheit der electromotorischen Kräfte der Verringerung des Radius der Röhre zu, die durch das Anbringen eines Ueberzuges eintritt, und stützt diese Behauptung auf Versuche, welche er mit Röhren von weiterem Querschnitt anstellte.

Ferner leitet er aus der von ihm aufgestellten unitarischen Theorie der Electricität ab, dass bei einer Flüssigkeitsbewegung stets ein electricischer Strom im Sinne dieser Bewegung entstehen muss, stellt somit der von Zöllner⁴⁾ gegebenen Theorie der capillarelectrischen Ströme, welche dieselben aus der Reibung der Flüssigkeit an der Röhrenwand ableitet, eine neue entgegen, welche die Frage, ob die bei Flüssigkeitsbewegungen auftretenden electromotorischen Kräfte von der Natur des Körpers, der mit der Flüssigkeit in Berührung ist, abhängig seien, zu einer fundamentalen macht.

Während also Zöllner die capillarelectrischen Ströme mit den von ihm entdeckten Reibungsströmen identificirt⁵⁾, nimmt Edlund an, dass eine Flüssigkeitsbewegung an

1) Wied. Ann. II. p. 336. 1877.

2) Wied. Ann. II. p. 327. 1877.

3) Wied. Ann. III. p. 489. 1877.

4) Pogg. Ann. CLVIII. p. 497. 1876.

5) Pogg. Ann. CLVIII. p. 520. 1876.

sich im Stande sei, einen electrischen Strom im Sinne dieser Bewegung hervorzurufen.

Zur Entscheidung der Frage, welche von diesen Theorien der Wirklichkeit entspricht, wurde die folgende Untersuchung angestellt.

Die Gesichtspunkte, von denen ich bei derselben ausging, sind diese:

Es ist klar, dass, wenn durch eine Flüssigkeitsbewegung an sich ein electrischer Strom erzeugt wird, zwischen zwei beliebigen Punkten eines freien Flüssigkeitsstrahls eine bestimmte Potentialdifferenz statthaben muss.

Man könnte allerdings hiergegen einwenden, dass, da die in durchströmten Röhren auftretende Potentialdifferenz stets der Druckdifferenz in den betrachteten Punkten proportional ist, in freien Wasserstrahlen keine Electricitätsentwicklung zu erwarten sei, weil zwischen je zwei Punkten eines Flüssigkeitsstrahls keine Druckdifferenz vorhanden ist. Doch fällt dieser Einwand, wenn man bedenkt, dass die in Röhren auftretende electromotorische Kraft nur insofern vom Druck abhängig ist, als dieser die Geschwindigkeit der Flüssigkeitstheilchen bedingt. Schon Prof. Quincke¹⁾ wies nach, dass, wenn man bei ruhendem Wasser dafür sorgt, dass die Electroden, welche in die Flüssigkeit éingesenkt sind, unter verschiedenem Drucke stehen, kein electrischer Strom hervorgebracht wird.

Die Theorie, dass die capillarelectrischen Ströme durch die Reibung der Flüssigkeit an der Röhrenwand bedingt werden, würde fordern, dass in freien Strahlen keine electromotorischen Kräfte auftreten, dass jedoch, sobald man den freien Strahl über eine isolirende Fläche gleiten lässt, ein electrischer Strom entstehen muss.

Die aus dieser Theorie abgeleitete Folgerung hat sich vollkommen bestätigt, indem es gelang, nachzuweisen, dass in freien Strahlen in Luft keine electromotorischen Kräfte auftreten, dass jedoch ein electrischer Strom entsteht, so-

1) Pogg. Ann. CVII. p. 13. 1859.

bald man einen solchen Strahl über eine Platte aus isolirender Substanz gleiten lässt.

§ 2. Apparat und Methode.

Als strömende Flüssigkeit wurde das Wasser der hiesigen Wasserleitung benutzt, die erlaubte, einen Wasserstrahl unter einem Druck von 2230 mm Quecksilber austreten zu lassen. An den Hahn der Leitung konnten Ansatzstücke aus Messing angeschraubt werden, in die eine Glasröhre von 5 mm Durchmesser eingekittet werden konnte. Vermittelst einer Kautschukverbindung und einer Glasröhre von gleicher Weite und 1 m Länge wurde das Wasser bis zu einem Gefäss hingeleitet, das auf einem Isolirschemel stand. In dieses hinein wurde ein zweites grosses Glasgefäss gestellt, welches die der Ausströmungsöffnung entfliessenden Wassermassen aufnahm. Das erstere hatte nur den Zweck, zu verhindern, dass der Fussboden durch etwa überfliessendes Wasser benetzt würde. Diese Vorsicht schien geboten, da nur bei ganz vollständiger Isolation constante Resultate erzielt wurden. Die Bestimmung der electromotorischen Kraft geschah mit Hülfe des Thomson-Kirchhoff'schen Quadrantelectrometers, indem die zu messende electromotorische Kraft mit der eines Normaldaniell verglichen wurde, dessen Constanz seinerseits durch Vergleichen mit einem Clark'schen Elemente controlirt wurde. Ausserdem bediente ich mich noch eines Galvanometers (8000 Windungen) nach Wiedemann, das mit Hülfe eines Haüy'schen Stabes vollkommen aperiodisch gemacht war. Wo es geboten erschien, wurde die Intensität des capillarelectrischen Stroms gemessen. (Die Ablesung am Electrometer sowohl, wie auch am Galvanometer geschah mit Spiegel, Scala und Fernrohr in bekannter Weise). Da alsdann die entsprechende electromotorische Kraft durch die Messung am Electrometer bekannt war, so liess sich hieraus der Widerstand der zwischen den Electroden eingeschalteten Flüssigkeitsmasse in willkürlichen Einheiten berechnen. Der Einfluss der Polarisaton

wurde dadurch zu vermeiden gesucht, dass der Strom nur so lange geschlossen wurde, bis das Maximum der Ablenkung an dem aperiodischen Galvanometer erfolgt war.

Als Electroden dienten mit Wasserleitungswasser gefüllte, an ihrem einen Ende zu einer Spitze ausgezogene Glasröhren, in deren anderes Ende Platindrähte eingeschmolzen waren. (S. Taf. VI Fig. 3). Vollkommene Gleichartigkeit dieser Drähte wurde dadurch erreicht, dass sie in der Gebläselampe so lange geglüht wurden, bis absolut keine Flammenfärbung mehr eintrat und dass sie paarweise miteinander verbunden in einem mit Wasser gefüllten Gefäss während 12 Stunden belassen wurden. Die durch sie hervorgebrachte electromotorische Kraft überstieg dann $\frac{1}{20}$ Dan. nicht. Um sich jedoch von der im Verlaufe der Messungen wieder etwas hervortretenden Ungleichartigkeit der Electroden unabhängig zu machen, wurde vor oder nach der Messung die electromotorische Kraft derselben bestimmt und als Correction in Rechnung gebracht. In den Fällen, wo auch die Intensität des Stroms gemessen wurde, wo also eine Polarisirung der Platindrähte eintrat, wuchs, für Dan. = 200 Scalentheilen, die Correction bis zu 30 Scalentheilen an.

Die Bestimmung des Druckes mit Hülfe eines am Leitungshahn eingekitteten Manometers erwies sich als ungenügend. Einmal bewirkten die steten Druckschwankungen der Leitung, dass der Meniskus des Quecksilbers Amplituden von etwa 20 mm Länge beschrieb, und dann mass dasselbe ja auch nur den hydraulischen Druck in dem Punkte, in welchem es von der Leitung abzweigt war. Die Ausflussgeschwindigkeit ist dagegen leicht mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen.

Bezeichnet man die Ausflussmenge in einer Secunde mit Q , den Querschnitt der Ausflussöffnung mit q , so ist klar, dass der Quotient $\frac{Q}{q}$ für Oeffnungen, welche im Verhältniss zum Querschnitt der Zuleitungsröhre sehr klein sind, der Geschwindigkeit der Theilchen gleich, oder doch

proportional zu setzen ist. Für weitere Oeffnungen würde der Quotient $\frac{Q}{q}$ immerhin noch ein angenähertes Maass für die mittlere Geschwindigkeit der Theilchen sein.

Die Ausflussmenge wurde dadurch bestimmt, dass die dem Apparate während eines durch die Schläge eines Metro-
noms markirten Zeitintervalls entströmenden Flüssigkeits-
mengen in einem calibrirten Gefässe aufgefangen wurden.

Bei sehr kleinen Ausflussöffnungen wurde das Metro-
nom durch eine mit einer Arretirung versehenen Uhr
(Chronoskop) ersetzt, welche gestattete, das Uhrwerk in dem
Moment auszulösen, in welchem das calibrirte Gefäss unter
die Ausflussöffnung gebracht wurde. Nach jeder Messung
am Electrometer wurde die Ausflussmenge dreimal be-
stimmt und aus diesen sehr nahe miteinander übereinstim-
menden Werthen das Mittel genommen.

Die Messung des Querschnitts der Ausflussöffnung ge-
schah mit Hülfe eines mit einem Ocularmikrometer ver-
sehenen Mikroskops (20 Theilstriche des Mikrometers
gleich 1 mm; $\frac{1}{300}$ mm zu schätzen), und zwar in der Art,
dass aus dem grössten und kleinsten Radius der Oeffnung
das Mittel als mittlerer Radius in Rechnung gebracht wurde.

Bei dieser Bestimmung der Geschwindigkeit der Theil-
chen ist man von den Druckschwankungen der Wasser-
leitung, wenn man das Zeitintervall genügend gross wählt,
ziemlich unabhängig, weil in demselben ebenso viele Schwan-
kungen im positiven wie im negativen Sinn auftreten
werden.

Hierdurch, glaube ich, ist im allgemeinen das Beo-
bachtungsverfahren charakterisirt; wo Abweichungen statt-
fanden, werde ich dieselben gehörigen Orts angeben.

I. Electromotorische Kräfte freier Wasserstrahlen in Luft.

§ 3.

Wir wenden uns nun zur Beantwortung der Frage,
ob durch freie Flüssigkeitsstrahlen in Luft electromoto-
rische Kräfte erzeugt werden oder nicht.

Es wurde direct an das Rohr der Wasserleitung eine Glasröhre von 100 mm Länge und 1,5 mm Radius eingekittet und aus dieser ein verticaler Strahl in ein Glasgefäß geleitet, für dessen Isolation jedoch nicht die in § 2 angegebenen Vorsichtsmaassregeln getroffen waren. In einen solchen Strahl nun wurden zwei Electroden der Form, wie sie Taf. VI Fig. 4 angibt, eingeführt. Das Glasrohr *AB* wurde mittelst des Ansatzrohres *C* mit Wasserleitungswasser gefüllt, nachdem zuvor bei *A* ein Platindraht eingeschmolzen war, und die Spitze *B* in den Flüssigkeitsstrahl eingesenkt. Die Ausbiegung *D* bewirkte, dass das an der Electrode herablaufende Wasser in das Glasgefäß mit der Hauptausflussmenge zusammenfloss. Eine solche Electrode befand sich ganz nahe der Ausflussöffnung (die „Bergelectrode“) und war mit dem einen, eine zweite (die „Thalelectrode“) in 100 mm Entfernung von der erstern befindliche mit dem andern Quadrantenpaare des Electrometers verbunden. Es wurde dann zunächst die electromotorische Kraft dieser Electroden bestimmt, während sie in ein mit Wasserleitungswasser gefülltes Glasgefäß eintauchten. Nachdem dies geschehen, wurden sie in den Wasserstrahl eingeführt. Es zeigte alsdann das Electrometer bei allen meinen Versuchen eine Potentialdifferenz an, die sich nur unwesentlich von der der Electroden in ruhendem Wasser unterschied.

Als z. B. dem Electrometer eine solche Ladung ertheilt wurde, dass der Normaldaniell eine constante Ablenkung von 450 Scalentheilen lieferte, brachten die Electroden in ruhendem Wasser eine Ablenkung von 19,5 Scalentheilen hervor. Als sie in den Wasserstrahl eingeführt wurden, ergaben sich folgende Ablenkungen:

20,6 16,8 14,4 im Mittel 17,3.

Mithin ist, da sich 17,3 von 19,5 nur unwesentlich unterscheidet, das Auftreten einer electromotorischen Kraft nicht zu constatiren.

Als ich mit diesen Versuchen zum Abschluss gekom-

men zu sein glaubte, erschien eine Abhandlung von Dorn¹⁾, in welcher dasselbe Resultat mit Hülfe einer ganz andern Methode abgeleitet wird.

Ich kam jedoch im Laufe meiner weitem Untersuchung zu der Ueberzeugung, dass die oben beschriebenen Versuche nicht einwurfsfrei gewesen seien, und zwar insofern, als die Isolation eine ungenügende gewesen sein konnte, und weil zweitens kein sicheres Kriterium für die Continuität des Strahls angewandt worden war.

Von beiden Einwürlen ist die folgende Versuchsreihe frei.

Das eine Ende eines horizontalen Glasrohrs *AB* (Taf. VI Fig. 5), in welches ein Messinghahn *H'* eingekittet war, um die Geschwindigkeit der Flüssigkeitstheilchen reguliren zu können, communicirte mit dem Hahn der Wasserleitung *H*, während das andere Ende gebogen und bis auf eine Oeffnung von 1,671 qmm zugeschmolzen war. 5 mm oberhalb dieser Oeffnung war ein Platindraht eingeschmolzen, der als Bergelectrode *b* diente. Der aus dieser Oeffnung austretende, vollständig klare Strahl trat in ein langes, ganz mit Wasserleitungswasser gefülltes Glas *G*, das sich in einem zweiten, weitem Gefäss *G'* befand, welches das überfließende Wasser aufnahm. Das weitere Gefäss stand, wie bei allen späteren Versuchen, auf einem Isolirschemel. Eine Electrode *t*, wie sie Taf. VI Fig. 3 darstellt, war in einem Stück Kork befestigt und mit diesem auf den Rand des Gefässes *G* aufgekittet. Die Röhre *AB* war in einen eisernen Halter geklemmt und in einer Verticalebene leicht verstellbar.

Es wurde nun der Hahn *H'* so gestellt, dass ein ganz ruhiger, klarer Strahl austrat, dann wurde der Wasserleitungshahn *H* geschlossen und *b* soweit gesenkt, dass sich Berg- und Thalelectrode beide in dem Gefässe *G* befanden, das, wie erwähnt, bis an den Rand mit Wasser gefüllt war. Jetzt wurde die electromotorische Kraft der

1) Wied. Ann. V. p. 20. 1878.

Electroden E_r am Electrometer bestimmt und die Intensität J_r des entsprechenden Stroms gemessen. Alsdann wurde, ohne an dem Apparat sonst etwas zu ändern, der Hahn der Wasserleitung geöffnet, sodass jetzt die Röhre AB von Wasser durchströmt wurde, und die jetzt beobachteten Ablenkungen am Electrometer E_R und Galvanometer J_R vermerkt. Durch diese Beobachtung soll festgestellt werden, ob durch das unterhalb b befindliche Röhrenstück von 5 mm Länge beim Fliessen des Wassers eine electromotorische Kraft erzeugt wird oder nicht. Dann wurde die Röhre AB so weit gehoben, dass ein freier Strahl in das Gefäss G traf, und wiederum die electromotorische Kraft E_s und die Intensität J_s gemessen. Dieses Verfahren wurde für Strahlen von verschiedener Länge L und verschiedener Geschwindigkeit v öfters wiederholt. Die Resultate dieser Messungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. In dieser gibt das Zeichen — einen Strom an, der im entgegengesetzten Sinne der Flüssigkeitsbewegung verläuft. Ferner ist noch zu bemerken, dass, um ein Urtheil über die Continuität des Strahls zu haben, in den Fällen, wo beim freien Strahl gar keine Ablenkung am Galvanometer beobachtet wurde, der Strom des Normaldaniells durch den Strahl hindurchgeleitet und dann die Intensität J_D gemessen wurde.

In der Tabelle bezeichnet demnach:

- L die Länge des Strahls in mm,
- Q Ausflussmenge in 1 Sec. in ccm,
- v die mittlere Geschwindigkeit in $\frac{\text{mm}}{\text{sec}}$,
- E_r die Ablenkung des Electrometers bei ruhendem,
- E_R die Ablenkung bei fliessendem Wasser,
- E_s die Ablenkung beim freien Strahle,
- D die Ablenkung des Electrometers, hervorgebracht durch das Normaldaniell, und ferner:
- J_r die Ablenkung am Galvanometer bei ruhendem,
- J_R die Ablenkung bei fliessendem Wasser,

J , die Ablenkung beim freien Strahle,
 J_D die Ablenkung, wenn das Normaldaniell durch den
 freien Strahl hindurchgeleitet wurde.

Tabelle I.

Electromotorische Kräfte freier Flüssigkeits-
 strahlen.

Nr.	L	Q in cem	V in $\frac{\text{mm}}{\text{sec}}$	E_r	E_β	E_s	D	J_r	J_β	J_s	J_D
1.	20mm	4,372	2615	-33,4	-23,7	-21,0	202,3	-49,9	-35,5	-8,5	- ¹⁾
2.	70mm	4,372	2615	-20,2	-9,8	-8,1	—	-43,8	-32,0	0,0	68,9 ¹⁾
3.	20mm	7,397	4425	-27,2	-0,5	-6,4	—	-34,9	-20,7	-8,2	- ²⁾
4.	70mm	7,397	4425	-24,8	-11,0	-21,4	—	-24,1	-21,1	0,0	42,1 ²⁾
5.	70mm	9,020	5396	-26,5	-4,5	-13,8	203,3	—	—	0,0	23,5 ³⁾

¹⁾ Strahl ganz klar und ruhig. — ²⁾ Strahl klar, aber Luft mitreisend.

³⁾ Strahl klar, aber viel Luft mitreisend.

Es wurde demnach in keinem Falle ein Strom im Sinne der Flüssigkeitsbewegung beobachtet. Da E_r durchgehend grösser als E_β ist, so folgt daraus, dass durch die Ausflussröhre in der That eine kleine electromotorische Kraft erzeugt wird. Sollen nun in freien Flüssigkeitsstrahlen keine electromotorischen Kräfte auftreten, so müsste in jedem Falle $E_\beta = E_s$ sein, was auch für die ganz klar ausfliessenden Strahlen in befriedigender Weise der Fall ist. Dass bei den unruhigeren Strahlen die Zahlen mehr schwanken, kann nicht wunder nehmen, aber ein Strom im Sinne der Flüssigkeitsbewegung war auch bei diesen nicht bemerkbar.

Der einzige Einwurf, den man gegen diese Versuche machen könnte, ist der, dass die Geschwindigkeit der Wassertheilchen eine zu kleine gewesen sei, um eine messbare Potentialdifferenz hervorzubringen. Doch fällt auch dieser Einwand, da im Folgenden bewiesen werden wird, dass man unter geeigneten Bedingungen im Stande ist, mit denselben Flüssigkeitsstrahlen electromotorische Kräfte

zu erzeugen, welche der eines Daniell'schen Elements nahe kommen.

Es ist somit das Dorn'sche Resultat in betreff freier Flüssigkeitsstrahlen in Luft auch durch electrometrische Messungen vollkommen bestätigt.

II. Electromotorische Kräfte von Wasserstrahlen, wenn dieselben über Platten aus isolirender Substanz gleiten.

§ 4.

Fügt man in einen verticalen, mit genügender Geschwindigkeit austretenden Wasserstrahl eine Glasplatte so ein (am besten unmittelbar unter der Ausflussöffnung), dass das Wasser an derselben hinuntergleitet, und verbindet den Punkt, in welchem der Strahl die Platte trifft, den wir der Kürze wegen als Einströmungspunkt bezeichnen wollen, und einen beliebigen Punkt der Platte, der von Wasser benetzt ist, mit den Quadranten des Electrometers, so zeigt dasselbe eine Potentialdifferenz an, und zwar verhält sich die Electrode, welche an dem Einströmungspunkte eingesenkt ist, wie die Zinkplatte eines Daniell'schen Elements, zeigt also freie negative Electricität. Verbindet man dieselben Punkte mit einem Galvanometer, so erfolgt eine Ablenkung der Multiplicatornadel, die einen positiven Strom im Sinne der Flüssigkeitsbewegung angibt.

Dies wurde in folgender Weise nachgewiesen:

Statt der Electrode *b* (Taf. VI Fig. 5) befand sich an dem Glasrohr *AB* eine andere, deren Platindraht mit einem an denselben angenieteten Platinblech versehen war. In diese Electrode wurde eine Glasröhre von 2 mm Durchmesser eingekittet, welche bis nahe auf den Boden des auf dem Isolirschemel befindlichen Gefäßes *G* reichte. Die Thalelectrode *t*, welche ebenfalls mit einem Platinblech versehen war, wurde in einem Korke befestigt, sodass sie stets auf der Oberfläche der im Glase befindlichen Flüssigkeit schwamm. Es wurde nun soviel Wasser in das

Glas einströmen gelassen, dass sich das Ende der Röhre unter dem Wasserniveau befand. Schloss man den Wasserleitungshahn *H*, so waren Berg- und Thalelectrode durch eine continuirliche Wassermasse verbunden. Von *b* und *t* führten zwei Leitungsdrähte zum Galvanometer. Stellte man nun durch einen Schlüssel die Verbindung mit den Electroden her, während sie eine ruhende Wassersäule verband, so ergab sich eine constante Ablenkung von 14,9 Scalentheilen. Als dann *H* geöffnet wurde, stieg dieselbe auf 415,4 Scalentheile. Die Röhre wurde darauf kurz unterhalb der Bergelectrode *b* abgeschnitten und der freie Strahl in das Gefäss strömen gelassen. Jetzt ergab sich eine constante Ablenkung von 13,8 Scalentheilen. Die Electrode *t* wurde dann in der Art, wie es Taf. VI Fig. 6 zeigt, an eine Platte aus Spiegelglas von 363,5 mm Länge und 153,9 mm Breite angekittet und diese dicht unter der Ausflussöffnung in den freien Strahl eingeführt, sodass das Wasser mit grosser Geschwindigkeit an der Platte herabschoss. Als man jetzt *b* und *t* wieder mit dem Galvanometer verband, zeigte dasselbe einen Strom an, welcher dem bei dem Durchströmen der Röhre entstandenen gleichgerichtet war, und zwar ergab sich eine constante Ablenkung von 510,0 Scalentheilen.

Es wird demnach dadurch, dass ein freier Wasserstrahl über eine Platte aus isolirender Substanz gleitet, ein Strom erzeugt, welcher der Flüssigkeitsbewegung gleichgerichtet ist.

Gegen den oben beschriebenen Versuch könnte man einwenden, dass die beobachtete electromotorische Kraft lediglich durch das unterhalb der Bergelectrode stehengebliebene Röhrenstück bedingt werde. Dass dem jedoch nicht so ist, davon kann man sich leicht überzeugen, indem man eine Electrode der in § 2 beschriebenen Art auf die Platte in unmittelbarer Nähe des Einströmungspunktes aufsetzt und diese als Bergelectrode benutzt. Alsdann kann die in der Ausflussröhre entstehende electromotorische Kraft keinen Einfluss auf die im Electrometer ge-

messene Potentialdifferenz ausüben. Dieses bestätigt sich auch durch den Versuch vollkommen. Setzt man die electromotorische Kraft eines Normaldaniell = 100, so ergab sich, wenn man die in die Ausflussröhre eingeführte Electrode als Bergelectrode benutzte, die electromotorische Kraft 68,7. Vertauschte man jedoch diese gegen die am Einströmungspunkte auf die Platte aufgesetzte, so ergab sich die electromotorische Kraft 48,9. Die Differenz dieser beiden Zahlen müsste der durch das kurze Stück der Röhre erzeugten gleich sein. Diese Differenz ist: 19,8, während eine directe Bestimmung die Zahl 18,8 ergab. Die gute Uebereinstimmung beider Zahlen beseitigt den oben erwähnten Einwand.

Ich kehre jetzt noch einmal zu der Versuchsreihe über freie Flüssigkeitsstrahlen in Luft zurück.

Es hatte sich im Laufe der Untersuchung gezeigt, dass Schellack sehr leicht durch einen Wasserstrahl electricisch erregt wird, und deshalb wurden bei jener Versuchsreihe, nachdem die electromotorische Kraft der Strahlen bestimmt war, dieselben Strahlen über eine mit Schellackfirniss überzogene Glasplatte gleiten gelassen. Bezeichnen wir die dabei auftretende electromotorische Kraft mit S und stellen nun diese Werthe der Uebersichtlichkeit wegen mit den in Tab. I angegebenen Werthen von E_s (electromotorische Kraft des freien Strahls) und v (Geschwindigkeit) zusammen, so haben wir:

1. für $v = 2615 \frac{\text{mm}}{\text{sec}}$, $E_s = -21,0$, $S = +60,5$.
2. „ $v = 4425 \frac{\text{mm}}{\text{sec}}$, $E_s = -28,1$, $S = +184,0$.
3. „ $v = 5396 \frac{\text{mm}}{\text{sec}}$, $E_s = -13,8$, $S = +196,4$.

Während also bei Strahlen in Luft keine electromotorische Kraft auftritt, welche die geringe, von Ungleichartigkeiten der Electroden herrührende, zu compensiren vermöchte, erhalten wir bei einer in den Strahl eingeführten Schellackplatte bereits bei einer geringen mittlern Geschwindigkeit am Electrometer eine constante Ablen-

kung von 60,5 Scalentheilen, die einem Strom im Sinne der Flüssigkeitsbewegung entspricht.

§ 5.

Nach den bisher angegebenen Versuchen war zu erwarten, wenn man zwei beliebige Punkte, die soweit auseinander liegen, dass sich zwischen ihnen eine genügende Strecke strömenden Wassers befindet, mit den Quadranten des Electrometers verbindet, dass dann dasselbe eine Potentialdifferenz anzeigen werde. Dieser Erwartung wurde jedoch nicht entsprochen, sondern es zeigte sich vielmehr, dass eine Electricitätsentwicklung nur dort stattfindet, wo die Flüssigkeitstheilchen eine bedeutende Reibung an der Platte erfahren, nämlich nur auf einer Strecke von etwa 80 mm Länge unterhalb der Stelle, wo der Strahl die Platte trifft.

Es ergab sich dieses, als die Abhängigkeit der electromotorischen Kraft von den Dimensionen der Platte ermittelt werden sollte. Zu dem Ende waren in eine Platte aus gewöhnlichem Fensterglase drei Löcher 1. 2. 3. gebohrt, in welche Electroden eingekittet wurden. Die Platte war 399,5 mm lang und 118,4 mm breit. Der Abstand der Electroden 1 und 3 (Taf. VI Fig. 7) betrug 300 mm; die Electrode 2 befand sich nahezu in der Mitte zwischen 1 und 3.

Verband man nun, während ein Wasserstrahl aus einer Glasröhre von 2,53 mm Durchmesser unter einem Drucke von 1261 mm Quecksilber über die Platte hinweggeleitet wurde, die Electroden 1 und 3 mit den Quadranten des Electrometers, so bestimmte sich die electromotorische Kraft zu 35,3, für 1 Daniell = 100. Verband man, während alles ungeändert blieb, 1 und 2 mit den Quadranten, so ergab sich die electromotorische Kraft zu 33,3. Die electromotorischen Kräfte sind in beiden Fällen also nicht wesentlich voneinander unterschieden. Es kann deshalb auf der Strecke 2. 3 keine, oder doch nur eine minimale Electricitätsentwicklung stattfinden.

Die Potentialdifferenz ergab sich bei ruhendem Wasser zwischen den Electroden 2 und 3 gleich 4,1; bei fliessendem 4,5. Es findet mithin auf der Strecke 2. 3 keine Electricitätsentwicklung statt.

Bei diesen Versuchen war die Ausflussmenge so gross, dass nur schwierig eine Messung am Electrometer gemacht werden konnte, weil sonst ein Ueberfliessen der Auffanggefässe stattfand.

Es wurde deshalb zu den weiteren Versuchen über den Sitz der electromotorischen Kraft eine Ausflussöffnung von 0,70 mm Radius benutzt. Auf der Rückseite der Platte, welche Taf. VI Fig. 7 dargestellt ist, brachte ich auf der Strecke 1. 2, Marken in verschiedenen Entfernungen an. Die Entfernung einer solchen Marke von der Thalelectrode ist im Folgenden mit s bezeichnet. Die Electrode 2 war ein für allemal mit dem einen Quadrantenpaare verbunden, während die Electrode 1 ganz ausgeschaltet wurde. Statt derselben war mit dem andern Quadrantenpaare des Electrometers eine der in § 2 beschriebenen und in Taf. VI Fig 4 dargestellten Electroden verbunden, die an einen in einen Retortenhalter festgeklemmten Glasstab angekittet und so beliebig verstellbar war. Diese so bewegliche Bergelectrode wurde auf die an der Platte angebrachten Marken aufgesetzt und so am Electrometer die electromotorische Kraft der zwischen den Electroden befindlichen Flüssigkeitsschicht gemessen. Auch die Intensität des Stromes wurde gemessen und so der Widerstand der Flüssigkeitsschicht in willkürlicher Einheit bestimmt. Da die Electrode 2 aus einem weitem Glasrohre gefertigt war, als die bewegliche Bergelectrode, so hatte man nur die Spitze der letztern in die Oeffnung von 2 einzusenken, um die electromotorische Kraft der Electroden im ruhenden Wasser sofort am Electrometer abzulesen, ohnedass dabei ein Verrücken der Glasplatte nöthig war. Die Werthe dieser Correction e weichen bei den einzelnen Messungen ziemlich bedeutend voneinander ab, was der bei der Bestimmung der Intensität des Stromes

auftretenden Polarisation zuzuschreiben ist. Nach jeder solchen Bestimmung wurden die Electroden, ehe man zur nächsten electrometrischen Messung schritt, miteinander in metallischer Berührung während einer Zeit von 10 Minuten in ruhendem Wasser belassen.

Nachdem so eine Versuchsreihe mit beweglicher Bergelectrode und fester Thalelectrode gemacht war, wurde jetzt die Electrode 1 mit dem einen Quadrantenpaare verbunden, während Electrode 2 durch eine bewegliche ersetzt wurde.

Die so erhaltenen Resultate sind in den folgenden beiden Tabellen zusammengestellt. Hier bezeichnet:

s die Entfernung der beweglichen Bergelectrode von der festen Thalelectrode,

σ die Entfernung der beweglichen Thalelectrode von der festen Bergelectrode, die sich in unmittelbarer Nähe des Einstromungspunktes befand,

J die Intensität, gemessen in Scalentheilen des Galvanometers,

E' die Ablenkung am Electrometer,

e die an letzterer anzubringende Correction,

E die electromotorische Kraft für 1 Daniell = 100; sodass

also: $E = \frac{E' - e}{D} \cdot 100$, wenn

D die vom Normaldaniell am Electrometer hervorgebrachte Ablenkung ist,

W den Quotienten $\frac{E}{J}$, also den Widerstand in willkürlicher Einheit.

Der Ausflussöffnung von 0,70 mm Radius entströmten in 1" 34,6 ccm Wasser, woraus sich die Geschwindigkeit der Wassertheilchen zu 22,5 m bestimmt.

Der volle Druck der Leitung, der dadurch bestimmt wurde, dass ein Quecksilbermanometer an den Hahn derselben geschraubt wurde, ergab sich zu 2224 mm Quecksilber.

Tabelle II.

Thalelectrode fest, Bergelectrode beweglich.

s	E'	e	D	E	J	W
75,0	9,5	+ 9,4	285,0	0,0	0,0	—
94,0	10,6	— 8,1	285,0	6,56	39,0	0,5026
112,5	37,4	— 8,1	280,0	16,25	50,9	0,7347
131,5	118,4	— 19,2	280,0	49,14	116,6	1,0154
148,5	230,0	— 4,1	281,6	83,13	214,6	1,0702

Tabelle III.

Bergelectrode fest, Thalelectrode beweglich.

σ	E'	e	D	E	J	W
0,0	6,1	+ 5,5	200,4	0,0	0,0	—
19,0	40,5	— 5,6	200,4	23,00	0,0	0,3214 *)
36,0	92,0	— 25,4	—	58,58	177,0	0,5198
54,5	130,0	— 17,5	—	73,60	225,6	0,5762
73,6	142,6	— 21,4	—	81,83	235,6	0,6052
111,0	142,1	— 21,4	—	81,58	234,0	0,6065
148,5	142,0	— 21,4	200,4	81,53	233,1	0,6092

Der mit *) bezeichnete Widerstand wurde dadurch bestimmt, dass der Strom des Normaldaniells durch die zwischen den Electroden befindliche Flüssigkeitsschicht geleitet und die Intensität am Galvanometer gemessen wurde.

Aus den mitgetheilten Zahlen geht hervor, dass nur der Theil der über die Platte gleitenden Flüssigkeit dieselbe electricisch erregt, welcher sich unmittelbar unter dem Einströmungspunkte befindet. Zugleich liegt auch in diesem der Hauptwiderstand, denn es ist, wie Tab. III zeigt, gleichgültig, ob man die Thalelectrode in einer Entfernung von 73,6 mm, 111,0 mm oder 148,5 mm in den Strahl senkt, immer wird derselbe Widerstand 0,61 gefunden.

Auch ist zu bemerken, dass es keinen Unterschied macht, ob man die bewegliche Electrode in der Mitte oder ganz an dem Rand des Strahls einführt, wenn nur die beiden Punkte in einer horizontalen Linie liegen, sodass also bei einem nahezu verticalen Strahle diese die Niveau-

linien sind. Dem entsprechend lässt sich auch zwischen je zwei in einer Horizontalen liegenden Punkten keine Potentialdifferenz nachweisen. Es ist somit die electromotorische Kraft lediglich eine Function des Abstandes dieser Niveaulinien vom Einströmungspunkte, welches Functionsverhältniss Taf. VI Fig. 11 und 12 graphisch dargestellt ist. Hier sind die Abscissen gezählt von dem Einströmungspunkte O an, während die Ordinaten die electromotorischen Kräfte für 1 Dan. = 100 geben. Die Richtung der Verrückung ist durch die der Pfeile angegeben.

§ 6.

Ein weiterer Punkt, der beweist, dass die auftretende electromotorische Kraft durch die Reibung bedingt ist, ist der, dass dieselbe davon abhängig ist, welche Neigung die in den verticalen Wasserstrahl eingeführte Platte gegen denselben hat. Eine einfache Relation zwischen Neigungswinkel und electromotorischer Kraft konnte nicht aufgefunden werden, was bei der Complicirtheit der Erscheinung nicht wundern kann.

Es zeigte sich eine Abnahme der electromotorischen Kraft mit wachsendem Winkel φ , wie aus folgender Beobachtungsreihe ersichtlich ist.

Tabelle IV.

φ	E'	e	D	E	φ	E'	e	D	E
10°	94,3	-7,4	194,4	52,31	30°	63,6	-7,4	194,7	36,46
20°	72,1	-7,4	194,7	40,83	40°	19,1	-7,4	194,7	13,61

Hier bezeichnet:

φ den Winkel, welchen die ebene Platte mit dem verticalen Strahle macht,

E' die Ablenkung am Electrometer,

e die an derselben anzubringende Correction,

D die Ablenkung durch das Normaldaniell,

E die electromotorische Kraft für $D = 100$.

Die Bestimmung des Winkels φ geschah, indem ein in Grade getheilter Halbkreis aus Cartonpapier, in dessen

Mittelpunkt ein Bleiloth befestigt war, auf die in den Strahl eingeführte Platte aufgesetzt wurde, während zuvor die Ausflussöffnung so gestellt worden war, dass der Wasserstrahl in der Richtung der Verticalen austrat, was durch ein Bleiloth controlirt wurde.

§ 7.

Jede Aenderung des Druckes, mithin auch jede Aenderung der Geschwindigkeit der aus der Ausflussöffnung hervortretenden Wassertheilchen brachte eine Aenderung der electromotorischen Kraft hervor, und zwar gelang es nachzuweisen, dass die electromotorische Kraft dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional ist, solange die Oberflächenbeschaffenheit der Platte dieselbe bleibt und stets dieselbe Ausflussöffnung in Anwendung gebracht wird.

Dies Resultat findet wohl darin seine Erklärung, dass nach dem Gesetze von der Erhaltung der Arbeit die erzeugte electromotorische Kraft dem Verluste an lebendiger Kraft, welchen die Wassertheilchen beim Gleiten über die Platte erleiden, proportional sein muss.

Das Variiren der Geschwindigkeit geschah mit Hülfe des Hahnes H' (Taf. VI. Fig. 5) und zwar so, dass, nachdem demselben eine bestimmte Stellung gegeben war, das Wasser unter dem vollen Drucke der Leitung der Ausflussöffnung zugeführt wurde. Zwei Electroden von der in Taf. VI Fig. 3 dargestellten Form wurden an einen Glasstreifen festgekittet, sodass der Abstand s der Electroden ein constanter war. Letzterer war ausserdem so gewählt, dass das Maximum der Wirkung erzielt wurde. Die Bergelectrode wurde dann in unmittelbare Nähe des Einstromungspunktes gebracht und die Potentialdifferenz für verschiedene Geschwindigkeiten gemessen. Ausserdem wurde für vollkommene Isolation der Gefässe gesorgt und die Ausflussöffnung sehr klein gewählt, sodass die Ausflussmenge mit Hülfe des Chronoskops sehr genau bestimmt werden konnte.

Die Versuche wurden alle mit einer Glasplatte von

gewöhnlichem Fensterglase von 300,5 mm Länge und 122,5 mm Breite angestellt. Vor und nach jeder Messung wurde die Ausflussmenge und die electromotorische Kraft der Electroden in ruhendem Wasser bestimmt, während bei jeder Stellung des Hahnes H' die Ablenkung des Electrometers vier- bis sechsmal gemessen wurde.

Als die Platte unter einem Winkel von 18° gegen den verticalen Strahl geneigt war, ergaben sich die in folgender Tabelle zusammengestellten Zahlen.

Es haben hier E' , e , D , E die gewöhnliche Bedeutung, v ist die Geschwindigkeit in $\frac{\text{mm}}{\text{sec}}$ und Q die Ausflussmenge in Cubikcentimetern.

Tabelle V.

$\varphi = 18^\circ$, $s = 75 \text{ mm}$, Ausflussöffnung = 1,4182 qmm.

Nr.	E'	e	D	Q in ccm	v $\frac{\text{mm}}{\text{sec}}$	E
I	80,9	-7,6	230,8	7,506	5292	38,34
II	44,3	-2,0	233,7	5,339	3764	19,81
III	91,0	-2,0	240,1	7,500	5288	38,73

Durch die Uebereinstimmung der Werthe für E unter I und III wird angezeigt, dass die Platte während der Dauer der Versuche ihre Oberflächenbeschaffenheit nicht geändert hat. Hierin liegt nämlich eine Hauptschwierigkeit bei derartigen Messungen, worauf ich weiter unten zurückkommen werde.

Bildet man die Quotienten $\frac{E_{II}}{E_I}$ und $\frac{v_{II}^2}{v_I^2}$, so findet man, dass sie nahezu einander gleich sind; $\frac{E_{II}}{E_I} = 0,5167$ $\frac{v_{II}^2}{v_I^2} = 0,5064$, sodass diese Beobachtung das Gesetz:

$$E = av^2$$

wahrscheinlich macht, wo a eine Constante bedeutet.

Um die Richtigkeit dieses Gesetzes zu prüfen, wurde eine Beobachtungsreihe angestellt, und zwar am 23., 25. und 26. November. Von den vierzehn ermittelten Werthen

für $\frac{1}{a}$ stimmen elf nahezu miteinander überein; der Mittelwerth aus diesen ergibt sich zu $\frac{1}{a} = 559\,800$, und dieser Werth wurde als wahrscheinlichster Werth in Rechnung gebracht und mit seiner Hülfe aus den gemessenen Geschwindigkeiten die electromotorischen Kräfte abgeleitet. Die Werthe, die sich so ergaben, sind in der folgenden Tabelle mit $E_{\text{ber.}}$ bezeichnet.

Tabelle VI.

 $\varphi = 10^\circ$ $s = 75\text{ mm.}$

Nr.	E'	$-e$	D	Q in ccm	v $\frac{\text{mm}}{\text{sec}}$	$\frac{1}{a}$	$E_{\text{beob.}}$	$E_{\text{ber.}}$	Diff.	Datum.
1.	44,6	8,9	296,0	4,322	3047	525 800	18,07	16,98	+ 1,09	25. Nov.
2.	36,2	5,8	262,6	4,812	3393	[719 800]	15,99	20,56	- 4,57	26. „
3.	32,5	12,4	208,0	4,882	3442	548 700	21,69	21,16	+ 0,53	23. „
4.	66,1	9,6	231,0	6,023	4247	550 300	32,77	32,22	+ 0,55	26. „
5.	54,5	16,0	205,5	6,188	4363	554 900	34,31	34,01	- 0,30	23. „
6.	110,5	4,8	310,0	6,202	4373	514 100	37,29	34,16	+ 3,13	25. „
7.	85,7	12,1	250,0	7,013	4945	620 600	39,12	43,68	- 4,56	26. „
8.	122,1	10,8	290,9	7,204	5079	564 800	45,69	46,09	+ 0,60	25. „
9.	105,3	14,3	262,6	7,532	5316	619 300	45,55	50,38	- 4,83	26. „
10.	76,3	7,3	205,1	7,933	5594	[767 600]	40,76	55,89	- 15,13	23. „
11.	168,8	9,0	298,2	8,126	5730	550 600	59,62	58,64	+ 0,98	25. „
12.	102,3	12,6	286,2	8,145	5743	[823 300]	40,06	58,92	- 18,86	26. „
13.	112,4	0,9	192,2	8,177	5765	563 900	58,95	59,38	- 0,43	23. „
14.	136,3	3,7	229,0	8,188	5773	545 100	61,13	59,54	+ 1,59	26. „

Berücksichtigt man, dass sich die Differenzen aus der Summe oder der Differenz der beim Messen der Geschwindigkeit und der electromotorischen Kraft begangenen Beobachtungsfehler zusammensetzen, so darf die Uebereinstimmung eine befriedigende genannt werden.

Die Abweichungen der Constante $\frac{1}{a}$ unter Nr. 2, Nr. 10 und Nr. 12 sind zu gross, als dass sie Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden könnten. Nr. 2 und Nr. 12 sind die ersten Messungen am 26. November, und es ist möglich, dass die Oberflächenbeschaffenheit der Platte

eine andere war, als am Tage zuvor, und dass erst, nachdem eine Stunde lang Wasser über dieselbe geflossen war, sich dieselbe wieder in dem gleichen Zustande befand, wie bei den früheren Messungen. Bevor übrigens zu der Bestimmung der electromotorischen Kraft geschritten wurde, war die Vorsicht gebraucht, die mit Alkohol und einem reinen Tuche gereinigte Platte eine halbe Stunde lang einem kräftigen Wasserstrahle auszusetzen.

Für die obige Voraussetzung spricht auch noch der Umstand, dass, als versucht wurde, die Beobachtungsreihe am 27. Nov. weiter fortzuführen, für $\frac{1}{a}$ Werthe gefunden wurden, die sich wesentlich von den früher gefundenen unterschieden, obwohl die sonstigen Bedingungen, unter welchen die Platte vom Strahle getroffen wurde, genau die gleichen waren, wie die Tage vorher.

Es ergaben sich für verschiedene Geschwindigkeiten für $\frac{1}{a}$ am 27. Nov. die Werthe:

$$652\,300, \quad 660\,400, \quad 620\,700$$

$$\text{Mittel } 644\,500.$$

Die Geschwindigkeiten waren:

$$5616 \frac{\text{mm}}{\text{sec}}, \quad 4229 \frac{\text{mm}}{\text{sec}}, \quad 2990 \frac{\text{mm}}{\text{sec}}$$

und für die electromotorischen Kräfte ergab sich:

$E_{\text{beob.}}$	$E_{\text{ber.}}$	Diff.
48,44	49,02	+0,58
27,14	27,75	-0,61
14,40	13,87	+0,53

Auch diese Zahlen zeigen wiederum die Richtigkeit des Gesetzes, und es ist somit bewiesen, dass, solange die Platte ihre Gleichartigkeit bewahrt, in der That die electromotorische Kraft der lebendigen Kraft der Flüssigkeitstheilchen proportional ist.

Diese Beziehung entspricht der von Edlund und Dorn in den früher citirten Abhandlungen für capillare Röhren aufgefundenen, dass die in solchen Fällen auftretenden electro-

motorischen Kräfte dem Drucke proportional sind; denn in unserem Falle ist der Druck eine quadratische Function der Geschwindigkeit.

Wir haben somit dargethan, dass die Relation $E=av^2$ besteht, und es wahrscheinlich gemacht, dass a eine von der Natur der Flüssigkeit und der Platte abhängige Constante ist.

Es sei noch bemerkt, dass man dieses Gesetz nicht auf zwei mit gleicher Geschwindigkeit aus verschiedenen Oeffnungen austretende Flüssigkeitsstrahlen anwenden kann, sondern dass dasselbe nur gilt, wenn man die Geschwindigkeit eines und desselben Strahles variirt; d. h. also, bestimmt man aus der Formel $E=av^2$ die Constante a für eine Platte bei gleichem v für verschiedene Ausflussöffnungen, so werden für diese total voneinander abweichende Werthe gefunden. Der Grund hiervon liegt wohl darin, dass die Gestalt der Ausflussöffnung in so complicirter Weise die Bahnen der Wassertheilchen und die Continuität des Strahles bedingt.

§ 8.

Dass in der That die bei Flüssigkeitsbewegungen auftretenden electromotorischen Kräfte wesentlich von der Natur des festen Körpers, mit welchem die Flüssigkeit in Berührung ist, abhängig sind, habe ich durch zahlreiche Versuche bestätigt gefunden. Während man die innere Wand einer Glasröhre nur schwierig in gleichartiger Weise mit einer Substanz überziehen kann, gelingt es einmal leicht, auf Glasplatten homogene und haftende Ueberzüge herzustellen, dann kann man aber auch geradezu Platten aus anderem Material in Anwendung bringen.

Mir standen zu Gebote:

1. Eine Platte aus Fensterglas von 300,5 m Länge und 122,5 mm Breite.
2. Eine Spiegelglasplatte mit Schellackfirniss überzogen von 153,9 mm Breite und 363,5 mm Länge.

3. Eine Spiegelglasplatte mit Wachs überzogen von 154,2 mm Breite und 364,1 mm Länge. Der Wachsüberzug war hergestellt aus einer Lösung von Wachs in Benzin.

4. Eine mit reiner Seide überspannte Glasplatte von 399,5 mm Länge und 118,4 mm Breite.

5. Eine Kautschukplatte von 283,0 mm Länge und 118,5 mm Breite.

6. Zwei Platten aus Schwefel von 197,1 mm Länge und 82,4 mm Breite.

7. Eine Marmorplatte von etwas grösseren Dimensionen, als die in Anwendung gebrachten Glassplatten.

Die Gestalt aller dieser Platten war eine rechteckige, und sie waren alle von einer Grösse, dass sich der Flüssigkeitsstrahl auf denselben ausbreiten konnte, ohne mit den Rändern der Platte in Berührung zu kommen. Wenn dies der Fall ist, so ist die auftretende electromotorische Kraft unabhängig von den Dimensionen der Platte.

Ausserdem verwandte ich:

8. Eine elliptische Porcellanplatte, deren grösster Durchmesser = 198,0 mm und deren kleinster = 155,5 mm war.

9. Eine Schieferplatte von unregelmässiger Gestalt.

10. Eine Achatplatte von elliptischer Form, deren grösster Durchmesser 163 mm und deren kleinster 115 mm betrug; diese, sowie

11. eine grosse Kalkspathplatte (Isländischer Doppelspath) von 173 mm Länge und 111 mm Breite, verdanke ich der Güte des Hrn. Prof. Rosenbusch, der mir dieselben aus der hiesigen mineralogischen Sammlung bereitwilligst zur Verfügung stellte.

Ausserdem kamen noch frisch abgespaltene Glimmerplatten verschiedener Grösse in Anwendung.

Es wurde nun so verfahren, dass in einen verticalen Wasserstrahl eine Glasplatte eingeführt wurde, die an einem auf sie aufgeklebten Glasstabe *S* (Taf. VI Fig. 6) in einen Retortenhalter festgeklemmt parallel mit sich selber verschoben werden konnte, ohnedass dabei die Ausflussröhre und die an einem Glasstreifen befestigten

Electroden aus ihrer Lage gebracht wurden. Nachdem nun die electromotorische Kraft der Glasplatte bestimmt war, wurden sie in der angegebenen Weise verschoben, und auf sie eine der oben angegebenen Platten mit Hülfe zweier Klammern aufgeklemmt. Dann wurde sie wieder in die frühere Lage gebracht, sodass man jetzt unter genau den gleichen Bedingungen den Strahl über die Platte aus anderem Materiale leiten konnte. Vor jeder Messung wurde der Winkel, unter welchem die Platte gegen den Strahl geneigt war, bestimmt, um sicher zu sein, dass keine Verschiebung derselben während der oben angegebenen Manipulation stattgefunden hatte.

Die zu den Versuchen verwandten Platten wurden alle auf ihre Isolation mit Hülfe eines Goldblatt-Electroskops geprüft.

Vollkommen isolirten Schwefel, Schellack, Kautschuck; Marmor, Schiefer gar nicht; alle übrigen weniger gut als die drei erstgenannten Körper. Die zu diesen Versuchen verwandte Ausflussöffnung hatte einen Radius von 0,70 mm und befand sich an einer in die Kautschuckverbindung *K* (Taf. VI Fig. 5) eingekitteten Glasröhre, sodass also in diesem Falle der Hahn *H'* fehlte. Da letzterer eine ziemlich enge Durchbohrung hatte, so bewirkte die Ausschaltung desselben, dass die Wassertheilchen mit bedeutend grösserer Geschwindigkeit die Ausflussöffnung verliessen, als wenn der Hahn *H'* vorhanden war. Es wurde sowohl die electromotorische Kraft *E'* am Electrometer, wie auch die Intensität *I* am Galvanometer gemessen und aus beiden der Widerstand der zwischen den Electroden befindlichen Flüssigkeitsschicht berechnet. Der Abstand der Electroden war bei allen Versuchen derselbe und so gewählt, dass das Maximum der Wirkung erzielt wurde.

Mit einem Manometer wurde der volle Druck (Ueberdruck) vor den Versuchen bestimmt; derselbe ergab sich zu 2233 mm Quecksilber. Die Geschwindigkeit der Theilchen betrug 22,5 m in der Secunde.

In der folgenden Tabelle ist die Bedeutung der Buchstaben I , E' , e , D , W die gleiche, wie in den früheren.

Tabelle VII.

$s = 90 \text{ mm}$, $\varphi = 10^0$. — 11. November.

Substanz	E'	e	D	E	I	W
Marmor	—12,8	—10,2	288,0	0,0	0,0	—
Seide	22,6	— 8,1	288,0	10,66	0,0	—
Achat	109,7	— 8,1	—	40,90	146,9	0,7468
Glimmer	109,7	—10,9	288,2	41,84	143,4	0,7650
Kautschuck	124,2	—10,9	—	46,87	147,5	0,8420
Wachs	182,0	—10,9	—	66,93	—	—
Glas	192,0	—10,9	—	70,40	185,4	1,0356
Porzellan	199,6	—10,9	288,2	73,04	216,0	0,9241
Schellack	272,7	—10,9	277,2	102,38	347,1	0,7856

Aus den mitgetheilten Zahlen geht unzweifelhaft hervor, dass die auftretenden electromotorischen Kräfte von der Substanz, mit welcher die Flüssigkeit in Berührung ist, abhängig sind.

Aehnliche Versuchsreihen, wie die obige, wurden am 7. und 19. November angestellt, die electromotorischen Kräfte, welche für die verschiedenen Substanzen an diesen drei Tagen ermittelt wurden, sind in Tab. VIII angegeben. Aus dieser geht hervor, dass, wenn man die Substanzen nach der Grösse der electromotorischen Kräfte ordnet, die Reihenfolge für die verschiedenen Tage nahezu dieselbe ist.

Tabelle VIII.

Substanz	7. November	11. November	19. November
Marmor	0,0	0,0	0,0
Seide	—	10,66	0,0
Glimmer	43,6	41,90	34,46
Achat	38,6	40,87	—
Kautschuck	48,4	46,87	42,80
Wachs	—	66,93	62,61
Glas	59,7	70,40	77,23
Porzellan	71,2	73,04	64,85
Schellack	97,4	102,38	116,70

Die für Glimmer angegebenen Zahlen sind wahrscheinlich zu klein, was darin seinen Grund hat, dass es sehr schwierig ist, passende Platten zu finden, da dieselben meistens von dem strömenden Wasser zerrissen werden. Sorgt man jedoch dafür, dass der Strahl auf eine ganz glatte Fläche auftrifft, so bleibt der Verlauf desselben, wenigstens während einer Zeit von 5 Minuten, ein regelmässiger, sodass man einige Messungen vornehmen kann.

Die Werthe für Glas und Porzellan liegen, je nach der Oberflächenbeschaffenheit der Platten, innerhalb derselben Grenzen, wie ich mich durch vielfache Versuche überzeugete, sodass die Abweichung der electromotorischen Kraft am 19. November darin ihre Erklärung findet.

Die geringen Werthe für den Strahl, wenn er über die mit Seide bekleidete Platte geleitet wird, könnten darin ihren Grund haben, dass feine Strahlen auf derselben discontinuirlich werden. Als ein Strahl aus einer Oeffnung von 2,53 mm Durchmesser unter dem vollen Drucke der Leitung über die mit Seide überzogene Glasplatte geleitet wurde, ergab sich eine electromotorische Kraft von 7,28 für 1 Daniell = 100, während derselbe Strahl auf Glas eine electromotorische Kraft von 27,93 erzeugte. Bei diesem Strahle ergab sich aber stets ein Strom im Sinne der Flüssigkeitsbewegung, während ein solcher bei einem feinen Strahle häufig nicht nachgewiesen werden konnte, wie z. B. am 19. November.

Für Marmor gelang es nicht, auch nur Spuren einer Electricitätsentwicklung aufzufinden, obwohl der Verlauf des Wasserstrahls auf einer solchen Platte ein sehr regelmässiger ist. Auf allen amorphen Gesteinen scheint übrigens nur eine geringe Electricitätsentwicklung stattzufinden; so lieferte die Schieferplatte nur electromotorische Kräfte, welche die eines Zehntel Daniell nicht überschritten.

Auf die Widerstände W (Tab. VII) der Strahlen auf verschiedenen Platten werde ich später zurückkommen und zunächst die electromotorischen Kräfte der Strahlen auf

Platten verschiedenen Materials im einzelnen weiter verfolgen.

§ 9.

Dorn¹⁾ gibt in seiner neuesten, die capillarelectrischen Ströme betreffenden Abhandlung an, dass er bei einer innen mit Wachs überzogenen Glasröhre einen dem Sinne der Flüssigkeitsbewegung entgegengesetzt verlaufenden Strom erhalten hätte, der allmählich wieder in einen der Flüssigkeitsbewegung gleichgerichteten überging. Da der Wachsüberzug aus einer Lösung von Wachs in Benzin hergestellt war, so wäre es möglich, dass die im Wachse zurückgebliebenen Spuren von Benzin den Strom in entgegengesetzter Richtung erzeugt hätten.

Mit einer Glasplatte, welche mit einem derartigen Ueberzuge versehen war, gelang es mir jedoch nicht, das Dorn'sche Resultat zu bestätigen. Zwölf Stunden nach Anbringung des Wachsüberzuges ergab sich die electromotorische Kraft der Platte zu 61,01, und als die Stelle, auf welcher die Electricitätsbewegung stattgefunden hatte, mit einigen Tropfen Benzin befeuchtet wurde, stieg die electromotorische Kraft in gleichem Sinne auf 82,27. Durch das Tränken des Wachses mit Benzin findet also eine bedeutende Zunahme der electromotorischen Kraft statt, eine Umkehrung des Stromes konnte jedoch nicht constatirt werden.

Analoges wurde beim Befeuchten des Wachses mit Alkohol beobachtet.

Dieselbe Platte zeigte noch ein ferneres eigenthümliches Verhalten. Als sie nämlich drei Wochen unbenutzt gestanden und sich an ihrer Oberfläche sehr viel Staub abgesetzt hatte, brachte ich sie, ohne sie zu reinigen oder frisch zu überziehen, unter einen Wasserstrahl, der aus einer Oeffnung von 1,671 qmm Querschnitt unter dem vollen Drucke der Leitung austrat. Setzen wir

1) Wied. Ann. V. p. 20. 1878.

die electromotorische Kraft eines Flüssigkeitsstrahls auf Glas = 1, so lieferte die Wachsplatte folgende Werthe:

1. frisch überzogen 0,943
2. mit Benzin getränkt 1,259
3. nach Ablauf von 3 Wochen . 1,636.

Diese im Laufe der Zeit vor sich gehende Veränderung der electromotorischen Kraft kann nur in einer Aenderung der Oberflächenbeschaffenheit der Platte ihren Grund haben.

Hierfür spricht auch noch der Umstand, dass bei der Platte, als sie mit Benzin befeuchtet war, die anfangs beobachtete electromotorische Kraft auf den ursprünglichen Werth zurücksank.

§ 10.

Aus Tab. VII und VIII folgt ferner, dass Schellack diejenige Substanz ist, welche in einem Wasserstrahle die grösste electromotorische Kraft hervorruft. Es ist dies im Einklange mit der von Quincke¹⁾ gemachten Beobachtung, dass Diaphragmen aus Schellack grössere Werthe, als fast alle anderen in Anwendung gebrachten Stoffe gaben, mit Ausnahme von Schwefel und Quarz.²⁾ Es schien deshalb von besonderem Interesse, das Verhalten dieser beiden Stoffe zu prüfen. Da mir nicht genügend grosse Quarzplatten zu Gebote standen, so musste ich mich auf die Untersuchung von Platten aus Schwefel beschränken.

Die Messungen an zwei solchen Platten, auf denen ein Wasserstrahl vollkommen regelmässig hinabglitt, und die, wie eine Prüfung am Electroskope ergab, vollkommen isolirten, sind in folgender Tabelle angegeben. Die Grösse der Ausflussöffnung betrug in diesem Falle 1,671 qmm, und die Geschwindigkeit der Wassertheilchen $5396 \frac{\text{mm}}{\text{sec}}$.

1) Pogg. Ann. CX. p. 51. 1860.

2) Pogg. Ann. CX. p. 58. 1860.

Tabelle IX.

 $s = 80 \text{ mm}, \quad p = 10^0.$

Substanz	E'	e	D	E	I	W
Glas	207,4	— 2,5	265,4	79,09	87,6	0,892
Schwefelplatte I	210,1	— 2,5	265,4	80,10	101,0	0,783
„ II (spiegelnd)	172,6	— 18,2	248,4	76,81	90,0	0,772
Schellack	340,8	— 23,2	248,4	146,5	140,8	0,975

Eine Schwefelplatte verhält sich demnach fast genau so wie eine Glasplatte und steht in betreff der Grösse der erzeugten electromotorischen Kraft unter Schellack. Dies auffallende Verhalten der Schwefelplatten, das mit den an den Diaphragmen gemachten Beobachtungen im Widerspruche steht, fand darin seine Erklärung, dass ganz feines Schwefelpulver die eigenthümliche Eigenschaft zeigte, dass es durch hohen Druck zu einer festen, kompakten Masse zusammengepresst wurde. Die Weite der Poren in einem Schellack- und Schwefeldiaphragma ist daher eine so verschiedene, dass die gemessenen electromotorischen Kräfte nicht ohne weiteres vergleichbar sind.

So ergaben sich für ein Schellack- und Schwefeldiaphragma, die nach der von Quincke¹⁾ angegebenen Methode angefertigt waren, die electromotorischen Kräfte 140,9 für das Schwefel-, und 71,5 für das Schellackdiaphragma, sodass also die von Quincke gemachte Beobachtung bestätigt wurde. Die beiden Ausflussmengen verhielten sich jedoch, obgleich das Schellack- und Schwefelpulver von nahezu gleicher Feinheit hergestellt worden war, wie 1:2,2. Als dann nach dem Versuche die beiden Diaphragmen geöffnet wurden, bildete das Schwefelpulver eine feste kompakte, das Schellackpulver eine lockere Masse, sodass sehr wahrscheinlich in diesem Verhalten des Schwefels der Grund liegt, warum Schwefeldiaphragmen so sehr viel grössere Werthe als Schellackdiaphragmen gaben.

1) Pogg. Ann. CX. p. 43. 1860.

Es sei noch bemerkt, dass der zu dem Diaphragma verwandte Schwefel von einem Bruchstücke der zu den Messungen benutzten Platte II herrührte.

§ 11.

Man hätte erwarten sollen, dass Körper, welche sich nach verschiedenen Richtungen verschieden verhalten, in der einen oder andern Richtung von einem Flüssigkeitsstrahle getroffen, auch voneinander abweichende Werthe für die electromotorische Kraft ergeben würden. Diese Vermuthung hat sich jedoch nicht bestätigt. An der Kalkspathplatte konnte keine Verschiedenheit der electromotorischen Kraft beobachtet werden, wenn der Wasserstrahl parallel oder senkrecht zum Hauptschnitte über dieselbe hinweggeführt wurde.

Als über die frische Spaltfläche dieser Platte der Strahl hinweggeleitet wurde, wurden anfangs keine constanten Resultate erzielt, da die Bahn des Strahles eine sehr unregelmässige war. Als jedoch an die Ränder der Platte Glimmerblättchen geklebt waren, welche bewirkten, dass der Abfluss des Wassers ein geregelter wurde, ergaben sich folgende Ablenkungen.

Strahl in der Richtung des Hauptschnittes:

228,7	221,1	212,1.	Mittel 220,6.
Daniell	480,6	480,0.	Mittel 480,3.

Strahl senkrecht zum Hauptschnitte:

210,5	201,0	205,7.	Mittel 205,7.
	Daniell	456,0.	

Demnach ist die electromotorische Kraft für den Strahl parallel zum Hauptschnitte für 1 Daniell = 100, 45,93 und senkrecht zu demselben 45,11. Der Unterschied in beiden Richtungen würde also, wenn ein solcher vorhanden, $1\frac{1}{2}$ Procent des ganzen Werthes nicht übersteigen.

§ 12.

Stellen wir noch die Werthe der electromotorischen Kraft für die verschiedenen Platten zusammen, wenn dieselben von einem Wasserstrahle electricisch erregt werden, so ergibt sich folgende Reihe:

1. Marmor	0,0	7. Kalkspath	46
2. Schiefer	10	8. Wachs	65
3. Seide	14	9. Glas	72
4. Achat	40	10. Porzellan	72
5. Glimmer	43	11. Schwefel	72
6. Kautschuk	46	12. Schellack	105

Daniell'sches Element = 100.

§ 13.

Wie schon früher erwähnt, ist die electromotorische Kraft unabhängig von den Dimensionen der in Anwendung gebrachten Platten, wenn dieselben nur gross genug sind, dass der Strahl sich in der Weise ausbreiten kann, wie dies die Oberflächenbeschaffenheit der Platten bedingt. Da die Gestalt eines Strahles auf Glas eine ganz andere ist, wie z. B. auf Wachs, so könnte man gegen die mitgetheilten Versuche einwenden, dass die grossen Unterschiede der beobachteten electromotorischen Kräfte lediglich durch die verschiedene Grösse der von dem Wasserstrahle bedeckten Fläche bedingt seien. Um diesen Einwand zu widerlegen, müssen wir die Gestalt der Flüssigkeitsstrahlen auf den Platten näher in's Auge fassen.

Trifft ein Wasserstrahl dicht unter der Ausflussöffnung auf eine ebene Platte, so findet eine Ausbreitung des Strahles statt, die um so vollkommener ist, je grösser die Adhäsion des Wassers an der Platte ist. Um ein Maass für die Adhäsion zu haben, wurde nach der von Quincke¹⁾ angegebenen Methode der Winkel bestimmt, unter welchem das letzte Element eines auf die Platte gebrachten Wasser-

1) Wied. Ann. II. p. 154. 1877.

tropfens die Ebene der Platte schneidet. Es zeigte sich hier, dass der Strahl sich um so mehr seiner Gestalt in freier Luft nähert, je geringer die Adhäsion der Flüssigkeit an der Platte ist.

Taf. VI Fig. 8 stellt einen aus einer 1,14 qmm grossen Oeffnung austretenden Wasserstrahl dar, wenn derselbe über Wachs, (Taf. VI Fig. 9), wenn derselbe über Schellack (Taf. VI Fig. 10), wenn derselbe über Glas gleitet. Diese Figuren wurden mit Hülfe einer Camera lucida entworfen und geben somit das Grössenverhältniss der Strahlen zu einander richtig wieder.

Der Randwinkel ϑ betrug für Wachs 68° , für Schellack 60° , während auf der Glasplatte, nachdem dieselbe eine halbe Stunde lang von Wasser überströmt war, $\vartheta = 0^\circ$ gefunden wurde, sodass also vollständige Ausbreitung der auf dieselbe gebrachten Wassertropfen stattfand. Man sieht aus Taf. VI Fig. 8, dass die Gestalt des Strahles auf Wachs Contractionen und Bäuche zeigt, wie sie Savart¹⁾ und Magnus²⁾ bei Wasserstrahlen, die aus kreisrunder Oeffnung austraten, beobachteten.

Die Ausbreitung des Strahles auf allen übrigen Substanzen war nahezu dieselbe, wie auf Glas. Genau dieselbe war sie auf Marmor, Schiefer und Schwefel.

Wir hatten uns früher (s. § 5) davon überzeugt, dass nur der Theil des Strahles einen electrischen Strom hervorruft, welcher sich unmittelbar unter der Ausflussöffnung befindet. Es kommt demnach auf die sonstige Gestalt des Strahles gar nicht an, wenn nur die Grösse dieses Theiles in allen Strahlen dieselbe ist.

Dass dieses in der That der Fall, geht schon direct aus der Anschauung hervor. Es bildet sich nämlich an der Stelle, wo die Platte von dem Strahle getroffen wird, eine eigenthümliche spindelförmige Figur, welche für alle Strahlen dieselbe ist und in ihrem Aussehen der nahe

1) Ann. de Phys. et de Chim. LIII. p. 337. 1833.

2) Pogg. Ann. CVI. p. 1. 1859.

kommt, welche Magnus¹⁾ erhielt, als er zwei Flüssigkeitsstrahlen von gleichen Dimensionen und gleichen Geschwindigkeiten unter gleichen Winkeln zusammentreffen liess. Dieser Umstand scheint darauf hinzudeuten, dass die Reflexion eines Strahles an ebener Wand so erfolgt, als ob an der Reflexionsstelle zwei Strahlen von gleichen Geschwindigkeiten zusammentreffen, bei denen der Ausströmungspunkt des einen Strahles ebenso weit vor der Platte liegt, wie der des andern hinter derselben. Denkt man sich also die feste Wand spiegelnd und von einem Wasserstrahle getroffen, so erfolgt die Reflexion so, als ob ein vom Spiegelbilde der Ausflussöffnung des erstern mit gleicher Geschwindigkeit ausgehender zweiter Strahl den erstern in der Ebene der Platte träfe, diese letztere aber gar nicht vorhanden wäre.

Ferner spricht dafür, dass der stromerregende Theil des Strahles auf allen Substanzen nahezu denselben electrischen Widerstand hatte.

Die Richtigkeit dieser Behauptung folgt aus den unter W (Tab. VII und IX) mitgetheilten Zahlen. Dieselben lassen erkennen, dass wesentliche Verschiedenheiten im Widerstande der Strahlen auf verschiedenen Substanzen nicht vorhanden sind. Dasselbe Resultat ergab sich auch, als durch den Wasserstrahl der Strom eines Bunsen'schen Elements so hindurch geleitet wurde, dass sich einmal die electromotorische Kraft desselben zu der des Strahles hinzuaddirte und einmal von derselben subtrahirte. Bezeichnet man die in den beiden Fällen beobachteten Intensitäten mit I_1 und I_2 , die electromotorische Kraft des Bunsen'schen Elements mit B , die des Strahles mit E , so hat man, mit Vernachlässigung der Polarisation, im ersten Falle:

$$(1) \quad I_1 = \frac{B + E}{W},$$

im zweiten:

$$(2) \quad I_2 = \frac{B - E}{W},$$

1) Pogg. Ann. XCV. 1855. Taf. I.

wo W der Widerstand der zwischen den Electroden befindlichen Wasserschicht ist, gegen den die übrigen Widerstände im Schliessungsbogen vernachlässigt werden können. Die Gleichungen (1) und (2) gestatten, E für $B=100$ und W in willkürlicher Einheit zu berechnen. Für die Widerstände eines unter dem vollen Drucke aus einer Oeffnung von 1,671 qmm austretenden Strahles wurden als Mittel aus fünf Bestimmungen folgende Zahlen erhalten:

Strahl auf Porzellan	56,7	Strahl auf Schellack	63,5
„ „ Schwefel	60,1	„ „ Kautschuck	64,4
„ „ Glas . . .	61,7	„ „ Wachs . . .	69,3.

Aus diesen Zahlen geht klar hervor, dass der die Electricität erregende Theil des Strahles auf allen Platten nahezu dieselben Dimensionen einnimmt.

Die geringen Unterschiede in den Widerständen rühren wohl daher, dass der etwa bis zu den Linien aa' (Taf. VI Fig. 8, 9, 10) reichende stromerregende Theil bei den verschiedenen Strahlen von verschieden dicken Flüssigkeitswülsten w umsäumt ist, die jedenfalls eine theilweise Ausgleichung der Electricität bewirken. Da dieselben aber gerade bei Schellack und Wachs sehr bedeutend entwickelt sind, so ist klar, dass bei diesen Substanzen die Nebenschliessung eine grössere ist, als bei allen anderen Strahlen, dass mithin bei diesen die electromotorischen Kräfte zu klein gefunden werden. Da nun aber gerade bei Schellack so bedeutend grössere Werthe, als für alle anderen Substanzen, ermittelt wurden, so ist damit bewiesen, dass in der That die Electricitätserregung auf Platten verschiedenen Materials eine ganz verschiedene ist, und dass mithin der obenerwähnte Einwurf nicht statthaft ist.

§ 14.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass wir in den von Wasserstrahlen überströmten Platten eine Electrisirmaschine mit flüssigem Reibzeuge vor uns haben, sodass der im Sinne der Flüssigkeitsbewegung wahrgenommene

Strom mit dem im Reibzeuge einer Electrisirmaschine auftretenden „Reibungsströme“ zu identificiren ist. Da nun ferner die sich bei den Platten darbietenden Erscheinungen mit den Beobachtungen, welche Quincke an Diaphragmen, Zöllner, Dorn, Clark und Haga an durchströmten Röhren machten, vollkommen übereinstimmen, so sind damit die capillarelectrischen Ströme auf das Princip der Electricitätserregung durch Reibung zurückgeführt. Es ist hierbei jedoch noch folgender Umstand zu beachten:

Gewöhnlich nimmt man an, wenn eine Flüssigkeit über eine feste Wand, welche sie benetzt, hinweggleitet, dass dann die Theilchen, welche einmal mit der festen Wand in Berührung sind, auch stets mit derselben in Berührung bleiben, dass also bei solchen Flüssigkeiten die Constante der äussern Reibung unendlich gross ist. ¹⁾

Wendet man diese Voraussetzung auf die capillarelectrischen Erscheinungen an, so müsste durch Reibung von Wasser an Wassertheilchen, also durch Reibung zweier ganz homogener Körper, Electricität erregt werden, eine Folgerung, welche unseren bisherigen Erfahrungen über die Entstehung der Electricität durchaus widerspricht. Da nun die Voraussetzung über die Constante der äussern Reibung näherungsweise richtig sein dürfte, so liegt es nahe, anzunehmen, dass sich über die benetzte Platte eine ruhende oder sich doch nur langsam bewegend Schicht der Flüssigkeit ausbreitet, die sich zu den mit grosser Geschwindigkeit bewegenden Theilchen wie ein heterogener Körper verhält. Diese Annahme hat sehr viel Wahrscheinlichkeit für sich, da bereits eine Anzahl von Erscheinungen wahrgenommen sind, die beweisen, dass ein jeder in einer Flüssigkeit befindlicher Körper mit einer dichtern Schicht derselben Flüssigkeit umgeben ist, die sich gegen dieselbe wie ein heterogener Körper verhält. So wies bereits im Jahre 1822 Pouillet¹⁾ nach, dass, wenn ein poröser Körper eine Flüssigkeit aufsaugt,

1) Ann. de Chem. et de Phys. XX. p. 141. 1822.

eine beträchtliche Temperaturerhöhung eintritt, welche, wie Jungk¹⁾ später (1865) zeigte, der an der Oberfläche des festen Körpers eintretenden Verdichtung der Flüssigkeit zuzuschreiben ist. Ferner gehört hierher die von Rose²⁾ beobachtete scheinbare Zunahme des specifischen Gewichts eines Körpers, wenn derselbe in fein zertheiltem Zustande in eine Flüssigkeit gebracht wird. Endlich ist auch von Schröder³⁾ und Quincke⁴⁾ nachgewiesen worden, dass sich eine Schicht dichtern Wassers gegen Wasser im normalen Zustande wie ein heterogener Körper verhält, und zwar zeigte der letztere, dass für Wasser ein positiver Strom in der dichtern zu der weniger dichten Flüssigkeit geht.⁵⁾

Wir dürfen demnach bei den von Wasser überströmten Platten die Existenz einer solchen Schicht voraussetzen und können hieraus für benetzende Flüssigkeiten die Electricitätserregung durch Reibung erklären, während man für nicht benetzende Flüssigkeiten eine directe Reibung der Flüssigkeitstheilchen an der festen Wand annehmen muss. Dies letztere dürfte z. B. für den Wasserstrahl auf Wachs und Schellack der Fall sein.

§ 15.

In der mitgetheilten Untersuchung ist demnach nachgewiesen, dass

1. wenn in einem freien Wasserstrahle eine electromotorische Kraft entstehen soll, es nothwendig ist, dass die Wassertheilchen sich in Berührung mit einem festen Körper befinden, und dass

2. nur dort eine Electricitätsentwicklung stattfindet, wo die Flüssigkeitstheilchen eine Reibung erfahren, sodass

1) Pogg. Ann. CXXV. p. 262. 1865.

2) Pogg. Ann. LXXIII. p. 1. 1848.

3) Pogg. Ann. LIV. p. 63. 1841.

4) Pogg. Ann. CVII. p. 12. 1859.

5) Pogg. Ann. CLIII. p. 175. 1874.

nur ein relativ kleiner Theil des Wasserstrahles etwas zur Electricitätsentwicklung beiträgt. Ferner wurde gezeigt, dass

3. wenn man die Geschwindigkeit eines aus stets derselben Ausflussöffnung austretenden Strahles variirte, die electromotorischen Kräfte sich wie die lebendigen Kräfte der Flüssigkeitstheilchen verhielten, welche Relation in dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft ihre Begründung fand.

4. Schliesslich ergab sich die electromotorische Kraft als abhängig von der Natur des Körpers, der mit dem Strahle in Berührung war.

Aus diesen Resultaten lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

1) Eine Flüssigkeitsbewegung an sich bringt keine electromotorische Kraft hervor. Es hat sich somit die von Edlund aus seiner unitarischen Electricitätstheorie abgeleitete Folgerung nicht bestätigt.

2) Die capillarelectrischen Ströme sind lediglich durch die Reibung der Theilchen der bewegten Flüssigkeit bedingt, und zwar bei nicht benetzenden Flüssigkeiten durch die Reibung derselben an den Theilchen der festen Wand, bei benetzenden dagegen durch die Reibung an den Theilchen einer auf der Oberfläche des festen Körpers verdichteten Schicht derselben Flüssigkeit, die sich gegen die weniger dichte wie ein heterogener Körper verhält.

3) Die von Quincke entdeckten capillarelectrischen Ströme sind mit den im Reibzeuge einer Electrisirmaschine auftretenden, von Zöllner zuerst beobachteten Reibungsströmen identisch.

Schliesslich erlaube ich mir noch an dieser Stelle Hrn. Prof. Quincke für die mir zu Theil gewordene freundliche Unterstützung in Rath und That meinen wärmsten Dank auszusprechen.

Heidelberg, im Januar 1879.
