

VI. Ueber die durch strömendes Wasser erzeugten elektrischen Ströme; von F. Zöllner.

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. Berichten d. K. sächs. Gesellschaft.)

In einem Nachtrage zu meiner Abhandlung „über den Ursprung des Erdmagnetismus und die magnetischen Beziehungen der Welthörper“¹⁾ theilte ich einige Versuche mit, in denen das Auftreten von galvanischen Strömen beim Durchfließen des Wassers durch Röhren beobachtet wurde. Hinsichtlich der Ursache dieser Ströme drückte ich meine *Vermuthung* in folgenden Worten aus (l. c. p. 574):

„Ich vermurthe, daß die Ursache dieser Ströme dieselbe ist wie bei den Quincke'schen Diaphragmenströmen.“

Wenige Monate später wiederholte Hr. Beetz in München meine Versuche²⁾ mit gleichem Erfolge, zeigte jedoch durch geeignete Modification der Bedingungen, daß die von mir vermuthete Ursache jener Ströme wahrscheinlich nicht die richtige sey und daß die Anordnung meiner Experimente Einwürfen unterliege, deren Berechtigung ich bereits am Schlusse meiner leszten Abhandlung „*Ueber die elektrische und magnetische Fernwirkung der Sonne*“ vollständig anerkannt habe.³⁾

Ich war daher bemüht, meine Versuche unter Bedingungen zu wiederholen, welche derartigen Einwendungen nicht unterworfen sind, und erlaube mir in Folgendem die bis jetzt erlangten Resultate meiner Beobachtungen in Kürze mitzutheilen.

Die Methode zur Erzeugung der Flüssigkeitsströmung ist im Wesentlichen die von Quincke bei seinen Unter-

1) Berichte d. K. sächs. Gesellsch., Sitz. am 20. October 1871, S. 479 bis 575.

2) Berichte d. K. Bairischen Akad. d. Wissensch. Sitz. am 4. Mai 1872, (Ann. Bd. 146, S. 486.)

3) Berichte d. K. sächs. Gesellsch. Sitz. am 1. Juli 1872.

über Diaphragmenströme angewandte ¹⁾ und Tafel VI zeigt die Anordnung der einzelnen Theile des hierzu benutzten Apparates. In dem Gefäße *B* kann die über dem Wasser befindliche Luft zusammengedrückt oder verdünnt werden, je nachdem das Quecksilbergefaß *D* höher oder niedriger als das durch einen starken mit Hanf durchwebten Gummischlauch damit communicirende Gefäß *D* aufgestellt wird. Die Höhendifferenz der Quecksilberniveau's in beiden Gefäßen giebt alsdann unmittelbar die Größe der positiven und negativen Druckwerthe an, durch welche das Wasser entweder von dem Gefäße *B* nach *A* oder in umgekehrter Richtung in dem Röhrensysteme bewegt wird. Die beiden Röhrentheile von etwa 8 Mm. Oeffnung sind bei *c* durch ein feines -, mit Kork und Siegellack sorgfältig eingekittetes Röhrenstück verbunden, welches leicht durch Röhren von verschiedener Länge und anderem Caliber ersetzt werden kann. In den seitlichen Röhren-Ansätzen *a* und *b* sind Platindrähte von etwa 0,5 Mm. Durchmesser eingeschmolzen, welche etwa 30 Mm. tief in die Ansätze hineinragen.

Die freien Enden dieser Platindrähte sind mittelst des Commutators *W* mit einem sehr empfindlichen Galvanometer *G* mit Spiegelablesung und aperiodischer Bewegung ²⁾ in Verbindung gesetzt. Der Abstand der Scale vom Spiegel betrug 3020 Mm.

Die *Längen* (*l*) der bei *c* nacheinander eingeschalteten Glasröhren waren:

$$l_1 = 10 \text{ Millimeter,}$$

$$l_2 = 20 \quad "$$

$$l_3 = 28 \quad "$$

$$l_4 = 55 \quad "$$

Die *Oeffnungen* dieser Röhren waren zum Theil *kreisförmig*, zum Theil *elliptisch*. Die mikroskopisch bestimm-

1) Pogg. Annalen Bd. CVII, S. 1 bis 47.

2) E. du Bois-Reymond. Ueber aperiodische Bewegung gedämpfter Magnete. Monatsberichte der Berliner Akademie 1869. S. 807—887.

ten Durchmesser (d) der *kreisförmigen* Oeffnungen waren folgende:

$$d_a = 0,949 \text{ Millimeter,}$$

$$d_b = 0,557 \quad "$$

$$d_c = 0,549 \quad "$$

$$d_d = 0,152 \quad "$$

Bei der *elliptischen* Oeffnung betrug

die Länge der großen Axe: 0,696 Millimeter,

die Länge der kleinen Axe: 0,228 "

Die Größen des angewandten Quecksilberdruckes (P) waren entsprechend der oben gegebenen Bezeichnung für *positive* und *negative* Druckwerthe die folgenden:

$$P_a = + 480 \text{ Millimeter,}$$

$$P_b = + 200 \quad "$$

$$P_c = - 180 \quad "$$

$$P_d = - 470 \quad "$$

Da es mir bei den mitzutheilenden Versuchen vorläufig nur darauf ankommt, die Existenz von elektrischen Strömen unter den vorstehend angegebenen Bedingungen nachzuweisen, deren Richtung in dem Wasser mit der in diesem erzeugten Flüssigkeitsströmung übereinstimmt, so verzichte ich auf eine genauere Angabe der übrigens aus den Arbeiten Quincke's bekannten Vorsichtsmaafsregeln, welche bei derartigen Versuchen zu berücksichtigen sind. Ich bemerke nur, daß die durch Ungleichartigkeiten der beiden Platindrähte erzeugten Ströme gering waren und daß sowohl die hieraus als die aus der Polarisation entspringenden Fehlerquellen durch die Umkehr und kurze Dauer der Flüssigkeits- und elektrischen Ströme unschädlich gemacht werden konnten.

Bei einem vorläufigen Versuche mit der Röhre von elliptischem Caliber und einer Länge von 20 Mm. erhielt ich bei abwechselnder Anwendung der Druckgrößen $P_b = + 200$ Mm. und $P_c = - 180$ Mm., also bei einer Gesamtdruckdifferenz von nur einer halben Atmosphäre, die folgenden *Differenzen* der Ausschläge am Galvanometer:

No. der Beob.	Differenz
1.	3,4
2.	3,4
3.	3,6
4.	3,7
5.	3,8
6.	3,7
7.	3,6
8.	2,5
9.	3,5
10.	3,7
11.	3,6.

Die Richtung des elektrischen Stromes war wie bei den Quincke'schen Diaphragmenströmen übereinstimmend mit der Richtung der erzeugten Flüssigkeitsströmung.

Bei der folgenden Versuchsreihe war ich bemüht, die Abhängigkeit der elektrischen Stromstärke von der Gröfse der angewandten Druckdifferenzen annähernd festzustellen. Die Röhre bei *c* war durch eine andere von demselben Caliber, aber einer Länge von 28 Mm. ersetzt.

Werden die bei Anwendung der Druckgrößen P_a, P_b, P_c, P_d beobachteten Stromstärken beziehungsweise mit S_a, S_b, S_c, S_d bezeichnet, so ergaben sich folgende Mittelwerthe:

$\frac{S_a}{S_b}$	$\frac{S_c}{S_d}$
1,84	2,31
2,42	2,80
2,28	1,81
1,91	2,40
2,63	2,06

Mittel = $2,22 \pm 0,09$ Mittel = $2,28 \pm 0,11$.

Dem Obigen gemäß sind die Druckgrößen P_a und P_b positiv, P_c und P_d negativ, so daß bei beiden Beobachtungsreihen die Flüssigkeitsströmung und dem entsprechend auch die elektrische Strömung ihre Richtung wechselte.

Die Maximaldifferenz der beobachteten Multiplier-
ablenkungen betrug 8,8 Scalentheile, und die Art der
Ablenkung zeigte stets einen elektrischen Strom an, dessen
Richtung mit der des strömenden Wassers übereinstimmte.

Vergleicht man die obigen Mittelwerthe für das Ver-
hältniß der Stromstärken mit dem Verhältniß der dabei
angewandten Druckwerthe, so ergibt sich:

$$\begin{array}{ll} \frac{P_a}{P_b} = 2,40 & \frac{S_a}{S_b} = 2,22 \pm 0,09 \\ \frac{P_a}{P_d} = 2,61 & \frac{S_a}{S_d} = 2,28 \pm 0,11. \end{array}$$

Trotz des *provisorischen* Charakters der mitgetheilten
Versuche scheint sich also auch hier, wie bei den von
Quincke beobachteten Diaphragmenströmen, annähernd
eine Proportionalität zwischen der Stromstärke und den
sie erzeugenden Druckgrößen zu ergeben¹⁾.

Es mag hier noch eine Beobachtungsreihe folgen, bei
welcher die Verbindung bei *c* durch eine Röhre mit *kreis-*
förmigem Querschnitt hergestellt war von dem Durchmesser:

$$d_b = 0,557 \text{ Mm.}$$

Die abwechselnd angewandten Druckgrößen waren be-
ziehungsweise

$$P_a = + 480 \text{ Mm.}$$

$$P_c = - 320 \text{ Mm.,}$$

so daß auch hierbei die Richtung des Wasserstromes und
gleichzeitig die damit verbundene elektrische Strömung
entsprechend dem Vorzeichen der Druckgrößen sich um-
kehrte.

Die folgenden Zahlen sind unmittelbar abgelesene Theile
der Multiplier-scale. Die Unterbrechung der Strömung
wurde durch Hinausziehen des Hahnstöpsels *h* bewirkt,
wo dann durch das Entweichen oder Eindringen der Luft
in das Gefäß *B* das Gleichgewicht des Druckes sich un-
mittelbar wieder herstellte und so am Schlusse einer jeden
Beobachtung eine Controle des Nullpunktes ermöglicht

1) Pogg. Ann. Bd. CVII, S. 22.

war. Das Gleichgewicht des Druckes ist durch P_0 bezeichnet. Die Differenzen zwischen den bei P_0 , P_a und P_r abgelesenen Werthen sind mit Berücksichtigung der Mittelwerthe von (P_0 vor und nach Anwendung des Druckes) erhalten.

P_0	$-P_r$	P_0	Differenz
532,1	429,0	532,4	— 3,3
532,8	528,7	532,8	— 4,1
532,8	528,8	533,0	— 4,1
			Mittel = — 3,81.

P_0	$+P_a$	P_0	
533,4	539,0	533,5	+ 5,5
533,6	539,5	533,7	+ 5,7
533,7	539,0	533,6	+ 5,4
			Mittel = + 5,53.

P_0	$-P_r$	P_0	
530,5	526,8	530,4	— 3,6
530,3	526,3	530,0	— 3,7
530,0	526,0	530,1	— 4,0
			Mittel = — 3,76.

P_0	$+P_a$	P_0	
529,9	535,3	529,8	+ 5,5
529,8	535,0	529,6	+ 5,3
529,3	534,6	529,0	+ 5,5
			Mittel + 5,43.

Um ungefähr eine Vorstellung von der Größe der bei diesen Strömen auftretenden elektromotorischen Kraft zu erhalten, schaltete ich in den Stromkreis ein frisch zusammengesetztes Daniell'sches Element ein und beobachtete während Gleichgewicht des Druckes, also keine Strömung stattfand, die Ausschläge des Multiplicators bei abwechselnd in entgegengesetztem Sinne gerichtetem Strome. Es ergaben sich folgende Differenzen in Scalentheilen:

1.	69
2.	71
3.	71
4.	70
5.	70
6.	71
7.	71

Mittel = 70,04.

Da man unter den gegebenen Bedingungen berechtigt war, den Widerstand des Daniell'schen Elementes im Verhältniß zu dem übrigen und constant gebliebenen Widerstände ¹⁾ des Stromkreises zu vernachlässigen, so verhielten sich die elektromotorischen Kräfte wie die beobachteten Stromstärken. Ich bemerkte hierbei, daß zu allen diesen Versuchen *destillirtes* Wasser angewandt wurde und daß nach längerem Gebrauch desselben (etwa nach 2 Tagen) in ähnlicher Weise eine Abnahme der Wirkung beobachtet wurde, wie dies Quincke bei seinen Versuchen gefunden hat.

Unter der gemachten Voraussetzung würde sich also bei dem Drucke $P_a = + 480$ Mm. eine elektromotorische Kraft von etwa 0,156 Daniell, also, unter Voraussetzung der Proportionalität zwischen Druck und Stromstärke, für den Druck *einer* Atmosphäre eine elektromotorische Kraft von 0,247 Daniell ergeben. — Eine ähnliche Bestimmung ergab für die Röhre von 0,949 Mm. Durchmesser und gleicher Länge eine elektromotorische Kraft von 0,43 Daniell. Vergleicht man diese Werthe mit den von Quincke für poröse Diaphragmen aus verschiedenen Substanzen bei *derselben* Druckdifferenz (1 Atmosphäre) erhaltenen elektromotorischen Kräfte ²⁾, so ergibt sich

1) Dieser Widerstand war so groß, daß die Einschaltung eines Siemens'schen Rheostaten von 20,5 Meilen Telegraphendraht keine wesentliche Aenderung der Stromstärke erzeugte.

2) Pogg. Ann. Bd. CX (1860) S. 56.

für gebrannten Thon die elektromotorische Kraft zu	0,361 Daniell,
Asbest dieselbe zu . . .	0,221 „

Ohne daher den oben durch vorläufige Versuche ermittelten Werthen der elektromotorischen Kraft eine große Bedeutung beilegen zu wollen, glaube ich doch daraus schliessen zu dürfen, daß die Stärke der elektromotorischen Kraftentwicklung bei den von mir beobachteten Flüssigkeitsströmen von derselben Ordnung wie bei den Quincke'schen Diaphragmenströmen anzunehmen ist.

E. du Bois-Reymond hat in seiner Abhandlung „*Ueber die elektromotorische Kraft der Nerven und Muskeln*“¹⁾ gezeigt, in wie erfolgreicher Weise Bestimmungen der elektromotorischen Kräfte dazu dienen können, um beim Erforschen der Ursachen dieser Kräfte von vornherein gewisse Kategorien des Ursprungs auszuschließen. So wird z. B. in der genannten Abhandlung S. 454 Folgendes bemerkt:

„Von den bekannten Ursachen galvanischer Ströme sind es nur drei, an welche man, behufs der Erklärung der elektromotorischen Kraft der Nerven, Muskeln u. s. w. denken kann. Dies ist 1. die, welche die Ströme in den Ketten aus mehreren Flüssigkeiten, 2. die, welche die Wild'schen Hydro-Thermoströme²⁾, 3. die, welche die Quincke'schen Diaphragmenströme erzeugt.“

Nachdem die elektromotorischen Kräfte der beiden ersten Kategorien mit denjenigen der Muskeln und Nerven verglichen worden sind, bemerkt E. du Bois-Reymond l. c. S. 491 ff. Folgendes:

„Keine Combination, die nicht eine Kraft von $2 \times 0,080 = 0,160$ Daniell liefert, kann die in den elektromotorischen Molekeln thätige seyn“; „halten

1) Reichert's und du Bois-Reymond's Archiv 1867. Heft 4, S. 417 bis 497.

2) Pogg. Ann. Bd. CIII (1858) S. 353.

wir uns aber an das Bekannte, so sind die einzigen Combinationen, welche nicht durch ihre zu geringe Leistung ohne Weiteres von der Mitbewerbung ausgeschlossen sind, . . . merkwürdigerweise nur solche, deren eines Glied destillirtes Wasser ausmacht.“

„Allerdings giebt es eine Stromursache, welche gerade unter solchen Verhältnissen thätig ist, wie wir sie eben in den thierischen Geweben annehmen, und welche unter Umständen eine Kraft erzeugt, die mehr als ausreicht, um die elektrischen Erscheinungen an den Nerven und Muskeln zu erklären. Dies ist die von Hrn. Georg Quincke entdeckte, von der die Diaphragmaströme herrühren. Die Muskeln und Nerven lassen sich als poröse Körper auffassen, durch welche hindurch Flüssigkeiten unter mechanischem Druck, oder unter Einwirkung von Diffusionskräften, oder von elektrischen Triebkräften sich bewegen können. Gleichviel woher die Bewegung stamme, sie wird, nach Hrn. Quincke, von einer elektromotorischen Wirkung in ihrem Sinne begleitet seyn. Wenn nun aber auch, wie ich es bei einer früheren Gelegenheit andeutete, die Möglichkeit da ist, die Entstehung der Elektrotonusströme auf diesem Wege zu begreifen¹⁾, so möchte es doch nicht leicht seyn, eine Vorstellung zu ersinnen, wonach der Strom des ruhenden Muskels oder Nerven auf das Schema eines Diaphragmastromes zurückgeführt würde, geschweige eine solche, wonach eine elektromotorische Molekel als ein kleiner Diaphragmaapparat erschiene“.

Dafs die von mir beobachteten Ströme beim Durchfluß von destillirtem Wasser durch dünne Glasröhren derselben Ursache ihren Ursprung verdanken wie die Diaphragmenströme Quincke's, erhellt, wie mir scheint, auch

1) Reichert's und du Boi-Reymond's Archiv 1860, S. 542. Anm. 1.

aus der übereinstimmenden Richtung der beobachteten Ströme und vor allem aus dem *Reciprocitätsverhältniß*, welches die ganze Klasse jener Phänome charakterisirt.

Auf *dieses* Verhältniß und nicht auf die von *mir* mitgetheilten Versuche gestützt, suchte ich in meiner Abhandlung „Ueber den Ursprung des Erdmagnetismus und die magnetischen Beziehungen der Weltkörper“ die Annahme zu rechtfertigen, „*dafs alle strömenden Bewegungen in Flüssigkeiten, besonders wenn dieselben theilweise mit starren Körpern in Berührung stehen, von elektrischen Strömen begleitet sind, die sich nach den bisher vorliegenden That-sachen vorzugsweise in der Richtung der strömenden Flüssigkeit entwickeln*“¹⁾.

Auch der Erdmagnetismus, wenn man ihn durch galvanische Ströme zu erklären versucht, scheint die Annahme einer so ergiebigen Elektrizitätsquelle im Innern der Erde vorauszusetzen, dafs man unter den *bekannten* Ursachen elektrische Stromerregung, — wie bei den Nerven- und Muskelströmen —, nur an die in den Diaphragmenströmen und deren Modification auftretenden Elektrizitätsquellen zu denken hätte.

Bei der hohen Bedeutung, welche demgemäfs die bis jetzt unbekannten Elektrizitätsquellen jener merkwürdigen Ströme vielleicht dereinst erlangen können, beabsichtige ich die hier vorläufig mitgetheilten Versuche mit vervollkommenen Apparaten in umfassenderer Weise fortzusetzen. Es leuchtet ein, dafs das Studium der Erscheinungen in ihrer Abhängigkeit von äufseren Bedingungen bei dem Ersatz der porösen Diaphragmenströme durch Röhren eine sehr wesentliche Erleichterung und Vereinfachung verspricht.

1) Berichte d. K. sächs. Gesellsch. Sitz. am 20. October 1871.

