Notizen zur Theorie des stationären electrischen Stromes

Autor(en): **Budde, E.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern**

Band (Jahr): **- (1876)**

Heft 906-922

PDF erstellt am: **17.07.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-318904

Dr. E. Budde.

Notizen zur Theorie des stationären electrischen Stromes.

Sitzung vom 15. August 1875.

I. Ueber das Beharrungsvermögen der Electricität. Es sei $d\omega$ ein Flächelement im Innern eines durchströmten Leiters, N die Normale dazu, V die Potentialfunction der thätigen electrischen Kräfte, $i d\omega$ das Electricitätsquantum, welches in der Zeiteinheit durch $d\omega$ strömt; dann lautet bekanntlich das Ohm'sche Gesetz, unter k eine Constante verstanden

$$i = k \frac{dV}{dN} \qquad 1)$$

Wir wollen von vornherein festsetzen, dass unter $d\omega$ ein Element irgend einer Niveaufläche verstanden werden soll, so dass i die Stromdichtigkeit und $\frac{dV}{dN}$ die an der betrachteten Stelle thätige beschleunigende Kraft darstellt.

Es folgt nun aus Gl. 1) dass die Bewegung der Electricität an jeder Stelle des Leiters nur von den daselbst thätigen Kräften abhängt, nicht aber von den Geschwindigkeiten, welche die electrischen Theilchen an andern Stellen des Leiters besessen haben. Man hat dies ausgedrückt in dem Satz: „Die Electricität hat kein oder ein verschwindend kleines Beharrungsvermögen." Und diesen Satz haben verschiedene Autoren wörtlich genommen; so hat zuletzt noch Herwig in Pogg. Ann. Bd. 150, S. 381 sehr weit gehende hypothetische Folgerungen auf denselben gebaut. Ist das zulässig?

A priori muss diese Frage verneint werden. Denn sobald wir überhaupt die mechanischen Begriffe Kraft, Arbeit, Beschleunigung etc. auf die Electricität anwenden, müssen wir auch annehmen, dass die Definitionsgleichungen jene Begriffe mit all' ihren Consequenzen für die Electricität gültig sind. Die Definition der Kraft aber liegt in der Gleichung

$$dv = \varrho \, dt \qquad {}^{2})$$

für die geradlinige Bewegung, worin v die Geschwindigkeit, ϱ die beschleunigende Kraft, t die Zeit bedeutet; und diese verlangt, dass hier $\varrho = o$

$$dv = o$$

$$\text{also } v = \text{const.}$$

werde, d. h. sie schliesst das Princip der Trägheit ein. Will man also überhaupt mechanische Rechnungen auf die Electricität anwenden, wobei man dieses Agens unter dem Bilde einer strömenden Flüssigkeit betrachtet, so muss man ihm auch die Eigenschaft des Beharrungsvermögens in aller Strenge zuschreiben; thut man dies nicht, so fällt die ganze mechanische Electricitätslehre zusammen.

Es lässt sich nun auch leicht nachweisen, dass die oben erwähnte Eigenschaft der stationären Strömung, an jeder Stelle des Leiters nur von den dort selbst thätigen Kräften abhängig zu sein, sich mit der Existenz des Beharrungsvermögens für die Electricität ganz wohl verträgt. Sie wird nämlich — und diese Auffassung findet sich auch in W. Weber's Schriften als selbstverständlich angedeutet — durch den Widerstand hervorgerufen. Der Widerstand modificirt die Bewegungen der electrischen Theilchen so, dass die

Strömung der Gleichung [1]) unterliegt. Es muss ein Gesetz für die Abhängigkeit des Leitungswiderstandes von der Strömungsgeschwindigkeit existiren, welches unter Voraussetzung des Beharrungsvermögens auf Gl.[1]) führt, und wenn sich ein solcher angeben lässt, so ist damit der Beweis geliefert, dass das Ohm'sche Gesetz die Trägheit der Electricität nicht ausschliesst, sondern verlangt. Wir können dies Gesetz [1]) angeben, es lautet: Der Leitungswiderstand, den die bewegte Electricität erfährt, ist ihrer eigenen Geschwindigkeit proportional.

Der Beweis dafür, dass dieser Satz das Ohm'sche Gesetz erklärt, ergibt sich wie folgt:

Die Volumeneinheit des betrachteten homogenen Leiters enthält im neutralen Zustande ein gewisses Quantum δ von Electricität. Man kann δ die Dichtigkeit der Electricität im Leiter nennen; sie wird bekanntlich durch den stationären Strom nicht geändert. u sei die Geschwindigkeit, womit die Electricität an irgend einer Stelle strömt. Zwischen u, i und δ besteht, wie man leicht sieht, die Beziehung

$$u = \frac{i}{\delta} \qquad {}^{3})$$

Die beschleunigende Kraft, welche die electromotorischen Kräfte an irgend einer Stelle des Leiters auf die daselbst vorhandene Electricität ausüben, ist $\frac{dV}{dN}$

[1]) Nachdem ich mir den nun folgenden Satz entwickelt, bin ich darauf aufmerksam gemacht worden, dass derselbe schon von Briot in seiner Théorie mécanique de la chaleur (Paris 1869) S. 260 ausgesprochen worden ist Dennoch halte ich es nicht für unnütz, ihn hier zu wiederholen, einmal weil er in Deutschland wenig bekannt geworden zu sein scheint, dann weil ich einige Folgerungen etwas weiter ausgesponnen habe als Briot. Selbstverständlich soll Briot's Priorität dadurch nicht angetastet werden.

Der Widerstand wirkt wie ein Reibungshinderniss, als rückwärts gerichtete Kraft. Nennen wir die beschleunigende Wirkung desselben — w, so ist nach unserem Satz

$$w = 2\,u = \varepsilon \frac{i}{\delta} \tag{4}$$

wo ε eine vorläufig noch nicht näher bestimmte Proportionalitätsconstante. Die Gesammtbeschleunigung, welche auf die Electricität wirkt, ist demnach

$$\frac{dV}{dN} - \varepsilon \frac{i}{\delta}$$

oder wenn man hierin für i seinen Ausdruck aus Gl. 1) einsetzt

$$\frac{dV}{dN}\left(1 - \varepsilon \frac{k}{\delta}\right)$$

Soll nun der Strom stationär sein, so muss diese Gesammtbeschleunigung zu Null werden; denn der stationäre Strom bewegt sich gerade so wie eine Flüssigkeit, die bloss unter dem Einfluss des Beharrungsvermögens fliesst. Der vorstehende Ausdruck wird aber zu Null, wenn

$$1 = \varepsilon \frac{k}{\delta} \tag{5}$$

oder

$$\varepsilon = \frac{\delta}{k} \tag{6}$$

ist. Setzt man also

$$w = \frac{\delta}{k}\,u \tag{7}$$

so ist das Ohm'sche Gesetz erfüllt; der Widerstand vernichtet genau die beschleunigende Arbeit der electrometrischen Kräfte. q. e. d.

Man kann aus der vorstehenden Betrachtung sehr einfach das Gesetz der Wärmeentwicklung durch den stationären Strom ableiten, indem man die auf die Ueberwindung des Widerstandes verwandte Arbeit in Rechnung zieht. Wir denken uns aus irgend einer Niveaufläche im Innern des Leiters ein Element $d\omega$ herausgeschnitten, und legen auf sämmtliche Punkte der Begränzung dieses Elementes die zugehörigen Kraftlinien. Dieselben schliessen einen unendlich dünnen, in sich zurücklaufenden Kanal ein, den wir einen Stromfaden nennen wollen. Seine Querschnitte sind Elemente $d\omega$ sämmtlicher im Stromkreis enthaltenen Niveauflächen. Wir betrachten zunächst das körperliche Element, welches zwischen zwei um dN voneinander abstehenden $d\omega$ des Stromfadens enthalten ist. Sein Volumen ist $d\omega \cdot dN$, die in ihm strömende Electricitätsmenge $\delta \cdot d\omega \cdot dN$. Ist die Geschwindigkeit an der betrachteten Stelle u, so ist daselbst die beschleunigende Kraft des Widerstandes $\frac{\delta}{k}\,u$, also die bewegende Kraft des Widerstandes

$$\frac{\delta}{k}\,u \cdot \delta \cdot d\omega\, dN$$

Während der Zeiteinheit passirt durch das betrachtete Element eine Säule von der Länge u, der Widerstand wird also auf dieser Strecke u überwunden, und die auf ihn verwandte Arbeit ist

$$u \cdot \frac{\delta}{k}\,u \cdot \delta \cdot d\omega\, dN$$

oder, wenn man $u\,\delta$ durch i ersetzt und umstellt

$$i\, d\omega \cdot \frac{i}{k}\, dN$$

für $\frac{i}{k}$ dN kann man nach Gl. [1]) setzen

$$\frac{dV}{dN}\, dN$$

Es wird also, wenn man ddL die in dem betrachteten Element geleistete Arbeit nennt,

$$d\,d\,L = i\,d\omega\,\frac{dV}{dN}\,dN \qquad {}^{8})$$

i dω ist bekanntlich für den ganzen Verlauf des Stromfadens constant. Integrirt man also die vorstehende Gleichung über eine endliche Strecke des Stromfadens, so wird

$$d\,L = i\,d\omega \int \frac{dV}{dN}\,dN \qquad {}^{9})$$

und wenn man die Werthe der Potentialfunction an den beiden Enden der betrachteten Strecke mit V_1 und V bezeichnet, so wirde diese offenbar

$$d\,L = i\,d\omega\,(V - V_1) \qquad {}^{10})$$

d. i. die bekannte Clausius'sche Grundgleichung für die vom Strom geleistete Wärmearbeit.

Die lebendige Kraft der strömenden Electricität, welche in dem zuerst betrachteten Element $d\omega \cdot dN$ enthalten ist, wollen wir durch ddF bezeichnen. Sie hat offenbar den Werth

$$d\,d\,F = \frac{1}{2}\,\delta \cdot d\omega\,dN \cdot u^2 \cdot \eta \qquad {}^{11})$$

wenn η die Masse der Electricitätseinheit bezeichnet.

Vergleicht man diesen Ausdruck mit dem ersten der Ausdrücke, welche wir so eben für die Arbeit ddL gewonnen

$$d\,d\,L = \frac{u^2\,\delta^2}{k}\,d\omega\,dN \qquad {}^{12})$$

so ergibt sich die Beziehung

$$\frac{ddF}{ddL} = \frac{k\eta}{2\delta} \qquad 13)$$

und da diese nichts mehr enthält, was von dem speciellen ausgewählten Element abhängt, gilt sie ohne Weiteres allgemein; es ist

$$\frac{F}{L} = \frac{k\,\eta}{2\,\delta}$$

Die lebendige Kraft des Stromes ist für jeden Leiter ein constanter Bruchtheil der in der Zeiteinheit in ihm geleisteten Arbeit. Wir werden später sehen, dass die Grösse δ sich für einzelne Leiter bestimmen lässt, und dass sie dort ausserordentlich grosse Werthe hat. η ist vermuthlich sehr klein; somit wird F gegen L bei diesem Körper unmerklich klein, ein Ergebniss, welches die Erfahrung bekanntlich allgemein bestätigt.

Die vorstehenden Resultate bleiben ungeändert, wenn man statt der hier gebrauchten unitarischen Ausdrucksweise die dualistische einführt. Nur ist dann unter δ das doppelte des Quantums von positiver Electricität zu verstehen, welches in der Volumeneinheit des betrachteten Leiters enthalten ist, m. u. W. Die negative Electricität ist bei Bestimmung der Dichtigkeit δ positiv zu zählen.

II. Verhalten der Electricität im Electrolyten, absolute Dichtigkeit und Strömungsgeschwindigkeit derselben. Wir bedienen uns von jetzt ab der dualistischen Darstellung, weil sich die Vorgänge in Electrolyten mit dieser am einfachsten verfolgen lassen.

Nach der von Clausius in die Theorie der Electrolyse eingeführten Vorstellung sind die Molekule eines Electrolyten jederzeit zum Theil in Zersetzung begriffen. Die Atome oder Atomgruppen, aus denen sie bestehen, bewegen sich in einer Weise, die mit der planetarischen verglichen werden kann, um einander, trennen sich gelegentlich und vereinigen sich wieder. Ein durchgehender Strom richtet diese Bewegungen so, dass die Bestandtheile einer Art sich nicht mehr nach der einen, die andere Art sich nicht mehr nach der anderen Seite verschieben; so kommt die electrolytische Zersetzung zu Stande. Die Versuche, in Körpern, welche durch den Strom zerlegt werden, neben der electrolytischen Leitung noch eine andere, der metallischen analoge nachzuweisen, sind bekanntlich vergeblich gewesen. Man wird daraus schliessen müssen, dass von der in den untersuchten Electrolyten enthaltenen strömungsfähigen Electricität kein oder nur ein verschwindend kleiner Theil zwischen den Atomen frei beweglich, dass die Gesammtmenge desselben fest mit jenen verknüpft und nur mit diesen zugleich verschiebbar ist. Sei KA ein Electrolyt, der durch den Strom in ein Kation K und ein Anion A zerfällt; dann hat man sich zu denken, dass merklich alle positive Electricität im Innern desselben an den K, alle negative an den A haftet.

Wendet man diese Bemerkung auf die Clausius'sche Hypothese an, so erhält man eine ziemlich vollständige, construirbare Vorstellung von dem Zustand der Electricitäten im Innern der Electrolyten KA: Dieselben sind einerseits auf die Atome K, anderseits auf die Atome A vertheilt und sie machen dieselben Bewegungen um- und durcheinander, welche die Atome A und K selbst ausführen. Die Elementarmengen von Electricität, welche den Atomen anhaften, drehen sich mit diesen in planetarischer Weise umeinander; von Zeit zu Zeit entfernt sich ein + E-Theilchen mit dem zugehörigen K aus dem unmittelbaren Anziehungsbezirke des bisher mit ihm näher verbundenen —E-Theilchens, um sich in den eines andern zu begeben etc. Geht ein Strom durch den Electrolyten, so wirken die electromotorischen Kräfte direct-anziehend und abstossend auf die + und —E-Theilchen und treiben eben dadurch die einen vorwiegend nach der Richtung des positiven, die andern nach der des negativen Stromes. So kommt die Leitung und mit ihr zugleich, da die E-Theilchen von den Atomen A und K untrennbar sind, die Strömung der Zonen zu Stande. Es liegt — namentlich nach den Speculationen, die Hr. Weber in seinen letzten Messbestimmungen gegeben hat — sehr nahe, anzunehmen, dass gerade die Anziehungen der den Atomen anhaftenden E-Theilchen dasjenige sind, was die polare Vereinigung der Zonen zu Molekülen verursacht; diese Hypothese ist wohl schon ziemlich weit unter den Physikern verbreitet, sie wird durch das Vorstehende nur deutlicher.

Und unsere ganze Vorstellung ist nicht neu; sie stimmt, wie man sofort sieht, ganz überein mit derjenigen, welche Hr. Weber sich über die Bewegung der Electricitäten im Innern beliebiger Körper gemacht hat. Nur das ist hervorzuheben, dass sie sich hier, für die Electrolyte, ganz von selbst aus der Clausius'schen Theorie ergibt. Unsere Bemerkung, dass die Electricitäten den Zonen fest anhaften, ist das Bindeglied zwischen der Weber'schen Anschauung und der Theorie der molecularen Bewegung in Flüssigkeiten. Diess kann ihrer Wahrscheinlichkeit nur zu statten kommen, und wir wollen sie daher zu einigen weiteren Folgerungen benutzen.

Die electrodynamischen Erscheinungen, die ein gegebener Strom darbietet, führen für eine gegebene Stelle der Leitung in letzter Instanz auf die Stromdichte i, d. h. auf das Quantum von Electricität, welches in der Zeiteinheit durch die Einheit der Fläche gehen würde, wenn in dieser ganzen Flächeneinheit dieselbe Strömungsgeschwindigkeit vorhanden wäre wie in der betrachteten Stelle. Setzen wir einen beliebigen homogenen Leiter voraus, so enthält die Volumeneinheit desselben im durchströmten wie im neutralen Zustand ein gewisses Quantum positiver, und ein entsprechendes von negativer Electricität; wir wollen das erstere mit $+\frac{\delta}{2}$, das letztere mit $-\frac{\delta}{2}$ bezeichnen und δ die „Dichtigkeit der Electricität" in dem gegebenen Körper nennen. Heisst die absolute Strömungsgeschwindigkeit an irgend einer Stelle desselben u, so ist daselbst

$$\delta\, u = i \qquad 1)$$

Dies Product u δ hat bisher nicht in seine beiden Theile zerlegt werden können. Für die Electrolyte gelangen wir aber zu einer solchen Zerlegung durch die Bemerkung: „Wenn die Electricitäten sich nur mit den Zonen bewegen können, so muss auch ihre Geschwindigkeit mit der der Zonen identisch sein."

Die Unregelmässigkeit der Einzelbewegungen, welche wir den E-Theilchen in jeder Flüssigkeit zuschreiben, bildet für die Verwendung dieses Satzes kein Hinderniss. An jeder Stelle werden allerdings die Zersetzungen und Verschiebungen von Augenblick zu Augenblick variiren; betrachtet man aber eine Quantität der Electrolyten, welche, obgleich für unsere Maasse noch sehr klein, schon eine grosse Zahl von

Molekülen enthält, so herrscht in dieser ein stationärer, mittlerer Zustand. Das Fortrücken der Zonen und Electricitäten in ihr ist eine unveränderliche Function der Stromdichte i. Wäre dem anders, so würde in den Electrolyten von regelmässigem Strom und vom Ohm'schen Gesetz überhaupt nicht die Rede sein können. Jener mittlere Werth des Fortrückens ist aber derjenige, welcher uns beschäftigt; er ist der Werth der Geschwindigkeit, womit sich Zonen und E-Theilchen bewegen würden, wenn sie continuirlich und gleichmässig dem Strome folgten.

Dagegen liegt eine Schwierigkeit in dem praktisch sehr häufigen Auftreten indifferenter Moleküle zwischen den Theilen des Electrolyten. Die für den Durchgang des Stromes erforderliche Verflüssigung der zersetzbaren Leiter kann bekanntlich auf zweierlei Weise erreicht werden: 1) durch Schmelzung, 2) durch Auflösung in einem nicht leitenden Mittel. Ist der Electrolyt geschmolzen, so haben wir es beim Process der Electrolyte nur mit seinen eigenen Molekülen zu thun; die vorhin gegebene Vorstellung findet unbedenkliche Anwendung auf alle diese und sie reicht aus, um über das Verhalten der sämmtlichen in ihm enthaltenen Electricität Auskunft zu geben.

Ist er aber gelöst, so haben wir neben seinen Theilchen noch die des Lösungsmittels. Ob diese an der Leitung Antheil nehmen, ist bekanntlich noch nicht entschieden, doch ist die Wahrscheinlichkeit nicht gering, dass z. B. das Wasser in wässerigen Lösungen sich einfach als Nichtleiter verhalte. Aber auch in diesem Fall bleibt die Frage offen, ob die Wassermolekülen gar keine Electricität enthalten, oder ob sie bloss keine Trennung der in ihnen vorhandenen + und —

E gestatten. Das letztere würde sich wohl ziemlich leicht wahrscheinlich machen lassen; wir würden aber in jedem Fall, um auch das Lösungsmittel in Betracht zu ziehen, einer besonderen Hypothese über den Zustand der Electricitäten in demselben bedürfen. Da wir hier keine solche einführen wollen, beschränken wir uns darauf, die gesammte, in einer electrolysirbaren Lösung möglicher Weise enthaltenen Electricität in zwei Theile zu theilen:

1) Die stimmungsfähige Electricität, welche den vom Strome wirklich gesetzten Theilen des gelösten Electrolyten anhaftet.

2) Die stimmungsunfähige, welche möglicher Weise in den Molekülen des Lösungsmittels enthalten ist, und an der Leitung keinen Antheil nimmt.

Ziehen wir bloss die erstere in Betracht, so gelten für diese gerade so wie für die E-Theilchen eines geschmolzenen Electrolyten, die vorhin gemachte Bemerkung und die folgende Rechnung.

Der Electrolyt KA sei in die Krone eines linearen Leiters vom Querschnitt ω gebracht; ihn durchfliesse ein Strom von der mechanischen Intensität J. Es ist

$$J = i\,\omega \qquad ^{2})$$

Das Atomgewicht von K sei k, das von A sei a. Nach dem Faraday'schen Gesetze liefert dann der Strom J in der Zeiteinheit diejenigen Quantitäten von K und A, welche der von ihm aus Cl abgeschiedenen Wasserstoffmenge aequivalent sind. Wir wollen μ die Quantität Wasserstoff nennen, welche ein Strom von der mechanischen Intensität 1 in 1 Secunde aus Salzsäure abscheidet; ferner sei χ die Valenz von K (welche nothwendig mit der von A übereinstimmt), d. h. die Anzahl von Wasserstoffatomen, welche K in der Verbindung KA vertritt. Dann liefert der Strom J die Mengen

$$J\mu\frac{k}{\chi} \text{ von K und } J\mu\frac{a}{\chi} \text{ von A}$$

In diesen Ausdrücken ist μ eine absolute Constante, χ eine Zahl welche in den gebräuchlichsten Fällen gleich Eins (HCl oder KJ), gleich 2 (JO_4Zn) oder gleich 3 (PO_4H_3) ist.

Setzt man das spezifische Gewicht des geschmolzenen Leiters (bei Lösungen das Gewicht des Electrolyten, welches in der Volumeneinheit der Lösung enthalten ist) = s, so enthält die Längeneinheit das Quantum ωs der Substanz, also von K die Menge $\omega s \frac{k}{a+k}$, von A die Menge $\omega s \frac{a}{a+k}$

Die oben genannte Quantität $J\mu\frac{k}{\chi}$ von K und $J\mu\frac{a}{\chi}$ von A ist demnach enthalten in einer Säule von der Länge $\frac{J\mu k}{\omega s \chi k}(a+k|$ oder $\frac{J\mu a}{\omega s \times a}(a+k)$ und da jene Quantität in der Zeiteinheit durch jeden Querschnitt des Leiters gehen muss, stellen die vorstehenden identischen Ausdrücke unmittelbar die gesuchte Geschwindigkeit dar; womit die Zonen, also die Electricitäten, sich im Mittel bewegen. Wir haben also, wenn wir noch $\frac{J}{\omega}$ durch i ersetzen

$$u = \frac{i\mu}{\chi s}(a+k) \qquad 3)$$

In dieser Form gilt die Gleichung für Leiter von beliebiger Gestalt; man vergesse aber nicht, dass die beigelösten Electrolyten nur die Geschwindigkeit derjenigen (Zonen und) Electricitäten liefert, welche wirklich an der Leitung des Stromes betheiligt sind. Ist der Electrolyt in lineare Form gebracht und bedeutet ν die Wasserstoffmenge, welche der gegebene Strom in 1 Sek. aus Salzsäure abscheidet, so kann man sie, wie leicht zu ersehen, auch schreiben

$$u = \frac{\nu}{\omega} \cdot \frac{a+k}{\chi s} \qquad (4$$

in welcher Form sie zur Anwendung auf Beispiele bequemer ist.

Denkt man sich z. B. durch eine Säule geschmolzenen Kochsalzes von 1 $\square^{mm}$ Querschnitt einen Strom von der electromagnetischen Intensität 1 geführt, so ist für diesen

$\nu = 0, 00105$ (Vergl. F. Kohlrausch in Poggendorff's Annalen Bd. CIL. S. 170)

$$a = 1$$

$$a + k = 58{,}5$$

$$\chi = 1$$

$s =$ nahe 2 (genauere Angaben habe ich nicht ausmitteln können).

Sonach wird

$$u = 0{,}0306 \, \frac{\text{millim.}}{\text{sec}}$$

Roiti hat in Poggend. Annalen (Bd. CL S. 164) einen Versuch beschrieben, aus dem er schliesst, dass der Lichtäther in eine Lösung von schwefelsauren Zink durch einen electrischen Strom, dessen absolute Stärke freilich aus der Angabe des Verfassers nicht zu entnehmen ist, nicht mit einer Geschwindigkeit in Bewegung gesetzt wird, welche 200 Meter oder mehr in der Sekunde erreicht. Er folgert daraus weiter, dass der Lichtäther mit der strömenden Electricität nicht identisch sei. Die Kleinheit unserer obigen Zahl für u kann von den Anhängern der Faraday-Maxwell-Edlund'schen Theorie als Beweis gegen die Zulässigkeit dieser letzteren Folgerung angesehen werden. Wenn auch, wie gesagt, die Stärke und Dichtigkeit der von Roiti benutzten Ströme sich nach seinem Bericht nicht bestimmen lässt, so kann man doch aus seiner Beschreibung mit ziemlicher Sicherheit entnehmen, dass die Stromdichte bei seinen stärksten Strömen nicht sehr gross gewesen ist, die Geschwindigkeit u dürfte kaum einige Millimeter erreicht haben; auch im Fall der Identität von Electricität und Aether musste also ihre Wirkung auf das Licht bei Roiti's Versuchen unmerklich bleiben.

Für die Dichtigkeit δ ergibt sich aus den Gleichungen (1) und (3) der Werth

$$\delta = \frac{\chi s}{\mu (a+k)} \qquad {}^{5})$$

a + k Gewichtseinheiten. (Ein Milligrammmolekül) des Electrolyten KA nehmen den Raum $\frac{a+k}{s}$ ein. Bezeichnen wir also mit $\pm \frac{q}{2}$ die Mengen in positiver und negativer Electricität, welche in einem Milligrammmolekül von KA enthalten sind, so setzt uns (5) die bequeme Gleichung

$$q = \frac{\chi}{\mu} \qquad {}^{6})$$

Weber und Kohlrausch haben schon vor langer Zeit die Vermuthung ausgesprochen, dass δ für die bekannten Körper sehr gross sei. In der That ist μ eine sehr kleine Zahl. Nennen wir γ das Verhältniss der electromagnetischen zur mechanischen Stromeseinheit, so ergibt sich als Mittel aus den neuern Bestimmungen von W. Thomson und Maxwell (Rep. of Brit. Anoc. 1869)

$$\gamma = 28{,}8 \cdot 10^{10}$$

und daraus

$$\mu = \frac{0{,}00105}{28{,}8 \cdot 10^{10}} = 0{,}366 \cdot 10^{-14}$$

und $\frac{1}{\mu} = 274 \cdot 10^{12}$

welche Zahlen freilich wegen der Unsicherheit von γ nur als rohe Näherungswerthe zu betrachten sind. Sonach ist z. B. für Kochsalz, wo $\chi = 1$

$$q = 274 \cdot 10^{10}$$

d. h. denkt man sich sämmtliche $+E$, welche in 58,5 Milligrammen Kochsalz enthalten ist, einerseits sämmtliche negative, anderseits in je einem Punkt vereinigt und diese beiden Punkte in 1^{mm} Entfernung von einander angebracht, so ist die Anziehung, welche sie auf einander üben, gleich

$$\left(\frac{274}{2} \cdot 10^{12}\right)^2 \frac{\text{millim. milligr.}}{\text{sec}^2}$$

Die Massenanziehung der Salzmoleküle verschwindet vollständig gegen diese Grösse. Diess gibt der Ansicht, dass die Atome ihre Bewegungen umeinander wesentlich unter dem Einfluss ihrer electrischen Anziehungen ausführen, einen neuen Anhalt.

Die Gleichung (6) liefert auch die Antwort auf die Frage: „Wie viel statische Electricität muss man durch einen gegebenen Electrolyten führen, um ein Milligrammmolekül desselben zu ersetzen?“ Das Quantum von $+E$, welches man ansammeln und durch den Electrolyten KA ableiten muss, um $a + k$ Milligramme desselben zu zerlegen, ist offenbar $\frac{q}{2}$. Faraday und

Buff haben bekanntlich versucht, jenes Quantum experimentell zu bestimmen; sie haben gemessen, wie viel + E in Bewegung gesetzt werden muss „um ein Gr. Wasser zu zersetzen“ und haben ungeheuere Zahlen gefunden. Leider haben sie diese Werthe nicht in absolutem Maass bestimmt; ihre Einheiten sind Ladungen von Leidner Flaschen. So lassen sich ihre Resultate nur in dem Satze „q ist enorm gross“ ausdrücken; aber auch so sind dieselben eine entfernte Bestätigung unsrer Rechnung. Eine neue directe Bestimmung von q in absolutem Maass würde viel Interesse haben, weil sich aus den Werthen von q und μ die Grösse γ ableiten lässt; ich werde versuchen eine solche vorzunehmen.

A. Quiquerez.

Notice sur des débris de l'industrie humaine

découverts dans le terrain quaternaire, à Bellerive, près de Delémont, en 1874.

(Avec deux planches.)

(Vorgelegt in der Sitzung vom 15. Januar 1876.)

Déjà depuis plusieures années j'avais observé dans les golets et le lehm qui ont servi à combler la petite vallée de Bellerive, des débris de charbon de bois et des os poudreux peu reconnaissables. (De l'âge du fer, page 10, année 1866.) L'année dernière, ayant été plus attentif, j'ai trouvé des os déterminables, une corne de cerf portant des entailles, des éclats de silex préparés par la main de l'homme et quelques autres objets. Récemment les travaux du chemin de fer ayant ouvert dans ma propriété une tranchée de plus de 300