

4. *Über den sogenannten Halleffekt in Elektrolyten; von Richard Heilbrun.*

Die Frage, ob in Elektrolyten die Stromfäden elektromagnetisch verschiebbar sind oder nicht, ist durch eine Reihe von Arbeiten verschieden beantwortet worden. Von einem wenig aufgeklärten Versuche Wiedemanns¹⁾ abgesehen, behandelt den Gegenstand und zwar als „Halleffekt in Elektrolyten“ zuerst Roiti.²⁾ Dieser hat einen Effekt gefunden, der einem Hallsehen gleichsieht, übrigens zu seiner Entwicklung Zeit braucht. Roiti schreibt ihn freilich nicht einer Ablenkung der Stromfäden zu, will aber auch den Halleffekt in Leitern erster Ordnung³⁾ nicht so aufgefaßt wissen. Roiti und mit ihm die Literatur nennt seinen Versuch negativ. Man findet es ganz in der Ordnung, daß Bagard⁴⁾ dieser Ansicht widerspricht und sie *prématurée* nennt. Er beobachtete schon bei Feldstärken von 300—400 Einheiten und bei Schichten von 1,6 mm Dicke einen Effekt, der wie Roitis zu seiner vollen Ausbildung Zeit — 2—3 Min. — in Anspruch nahm. Bei verdünntem Zinksulfat soll der Effekt von der Größenordnung wie beim Wismut, bei relativ konzentriertem Kupfersulfat kleiner gewesen sein. Den Behauptungen von Bagard ist dann von

1) G. Wiedemann, Lehrbuch der Elektrizität 3. p. 100. 1883.

2) A. Roiti, Atti della Acad. dei Lincei (3) 12. p. 397. 1882; Journ. de Phys. (2) 2. p. 518. 1883.

3) Es ist übrigens auffallend, daß noch niemand probiert zu haben scheint, den Halleffekt der Leiter erster Ordnung wirklich umzukehren. Man sollte erwarten, daß im starken Magnetfelde drehbar aufgehängte kongruente stromdurchflossene Windungen aus ganz dünnen Bändern von Kupfer und von Hallmaterialien Ablenkungs differenzen zeigen müßten, jedenfalls wenn der Halleffekt in einer wirklichen, vielleicht auch wenn er in einer scheinbaren Ablenkung der Stromfäden besteht. Freilich wird die notwendige Kongruenz der Bänder experimentell nicht ganz leicht zu erreichen sein.

4) H. Bagard, Compt. rend. 122. p. 77. 1896; 123. p. 1270. 1896; Journ. de Phys. 5. p. 499. 1896.

Florio¹⁾ und von Chiavassa²⁾ widersprochen worden, und zwar wendet sich Florio gegen Bagards, von ihm ohne Erfolg wiederholte Versuche, Chiavassa gegen ihre Auslegung. Aber Bagard³⁾ will beider Einwendungen nicht gelten lassen, verteidigt energisch seinen „Halleffekt bei Elektrolyten“ und behauptet, daß Florio zu konzentrierte Lösungen und zu kleine Ströme angewandt habe.

In der That sollte der Unbefangene auch den Effekt für möglich halten; liegt doch beim Elektrolyten, im Gegensatz zum Metall, das Leitermaterial nicht unbeweglich und starr in der Leitungsbahn. Elektrische und materielle Massen sind miteinander verknüpft und gleich beweglich. Beide werden durch das Lösungsmittel hindurch von elektrischen Kräften vorwärts geführt. Sollten sie nicht durch eine elektromagnetische Zugkraft, die auf Anion und Kation in gleicher Richtung wirkt, von ihrem nach vorwärts gerichteten Wege seitlich abgedrückt werden können? Das hängt, wie ich in einem früheren Aufsatz⁴⁾ schrieb, eben davon ab, ob „die ablenkende Kraft groß genug ist, um gegen die die Ionen in gerader Richtung vorwärts führende Kraft aufkommen zu können“. Oder mit anderen Worten: sind die elektrolytischen Stromfäden, d. h. die Ionenschwärme oder Ionenketten, so unelastisch oder die Reibung in der umgebenden Flüssigkeit so groß, daß sie starr oder wie in eine breiige Masse eingebettet, von den mit dem Versuche erreichbaren Zugkräften unbeeinflusst bleiben? Die ablenkende Kraft ist bekanntlich der Länge des abgelenkten Leiterstückes proportional. Soll man dafür nun den ganzen im Magnetfeld zurückgelegten elektrolytischen Weg oder etwa nur die Länge des einzelnen Ions einsetzen? Darüber liefert auch keine Klarheit eine theoretische, begrifflich schwer durchsichtige Arbeit, die Donnan⁵⁾ unter Bezugnahme auf eine mir nicht zugängliche von van Everdingen veröffentlicht hat, und die in der Literatur wenig beachtet geblieben zu

1) F. Florio, *Nuovo Cimento* (4) **4**. p. 106. 1896; **6**. p. 107. 1897.

2) F. Chiavassa, *Electricista* **6**. Nr. 10. 1897; *Nuovo Cimento* (4) **6**. p. 296. 1897.

3) H. Bagard, *Journ. de Phys.* (3) **7**. p. 426. 1897.

4) R. Heilbrun, *Zeitschr. f. Elektrochemie* **9**. p. 114. 1903.

5) F. G. Donnan, *Phil. Mag.* (5) **36**. p. 465. 1898.

sein scheint. Sie kommt jedenfalls zu dem Schluß, daß der Effekt selbst in vollständig dissoziierten Elektrolyten weit unter der Beobachtungsgrenze — wenn ich nicht irre, bei 10^{-8} mal dem des Wismuts — liegt.

Ein gleichfalls negatives Ergebnis haben neuerdings Versuche von Moretto¹⁾ gehabt, der Streifen von Filtrier- und Seidenpapier (0,15 und 0,03 mm dick) mit Elektrolyten getränkt hat. Desgleichen untersuchte er ohne Erfolg zwischen ebenen Glasplatten befindliche Schichten von 0,03 mm, wobei er als Elektrolyte verdünnte Schwefelsäure, Kupfersulfat und Wismutnitrat verwandte. Auch Quecksilber und Wismut-amalgam hatte keinen Erfolg. Trotzdem Moretto seiner originellen Methode²⁾ eine große Empfindlichkeit zuschreibt, konnte er bei keiner der angewandten Flüssigkeiten einen Halleffekt finden.

Der Widerspruch dieser Arbeiten mit denen von Roiti und Bagard mußte lösbar sein. Es kam darauf an, durch verschiedene Methoden eindeutig und widerspruchsfrei nachzuweisen, wer von jenen Autoren Recht hat, und dann womöglich zu zeigen, worin der Irrtum der Andersmeinenden liegt. Von den verschiedenen Versuchen, die zu diesem Zwecke angestellt wurden, seien hier zwei beschrieben. Der erste war in dem angeführten Aufsätze als die Erzeugung von „Metallabscheidungen mit schräger Oberfläche“ vorgeschlagen. Die in einem längeren Zeitraume abgeschiedene Metallmenge liefert von selbst das Integral über die auf elektrischem Wege zu bestimmenden sekundlichen Einzelwirkungen und wird mit der Wage als einem so außerordentlich genauen Meßinstrumente ermittelt.

Es wurde Kupfersulfat zwischen Kupferblechen elektrolysiert, und zwar war die Anordnung so getroffen, daß vor und nach der in der Horizontalen stattfindenden Elektrolyse das Kathodenblech in der Richtung der etwaigen elektromagnetischen Ablenkung der Ionenbahnen, d. h. hier übereinander, in drei getrennt zu wägende Teile zerlegt werden konnte. Diese drei Teile waren Quadrate von ungefähr 14,5 mm Seitenlänge. Zur Erzeugung einer gut anhaftenden Kupferschicht sind in

1) P. Moretto, *Physik. Zeitschr.* **4.** p. 352. 1903.

2) P. Moretto, *Physik. Zeitschr.* **1.** p. 372. 1900.

unserem Falle ungefähr $35 \cdot 10^{-3}$ Amp. erlaubt. Tatsächlich flossen nur etwa $23,0 \cdot 10^{-3}$ Amp. während anderthalb Stunden. Da ein Coulomb 0,3289 mg Cuprionen ausscheidet, sollte hier die Kathode um $0,3289 \cdot 23,0 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 60 \cdot 60 \text{ mg} = 0,0409 \text{ g}$ schwerer geworden sein. Die tatsächlichen Zahlen für die drei Teilbleche waren:

Oberes Blech	Mittleres Blech	Unteres Blech
0,6817	0,7538	0,8676
0,6693	0,7377	0,8562
<hr/> 0,0124 g	<hr/> 0,0161 g	<hr/> 0,0114 g

in Summa 0,0399 g. Daß die drei Teilbleche nicht genau gleiche Anteile an Strom bekamen, lag an ihren Kontakten. Bei der vorhandenen Anordnung waren die Übergangswiderstände schwer in allen drei Fällen gleich zu machen.

Nun wurde dieselbe Elektrolyse im Felde eines du Bois'schen Elektromagneten vorgenommen, und zwar so, daß die horizontalen Stromfäden von dem horizontalen Felde senkrecht geschnitten wurden. In dem Interferikum von 25 mm zeigte die frisch geeichte Wismutspirale ¹⁾ etwa 7000 Linien pro cm^2 an.

Überlegen wir, nach welchem der Bleche hin der elektromagnetische Druck gerichtet war. Nach alter Regel stellt man Mittelfinger, Zeigefinger und Daumen der rechten Hand wie die drei Achsen eines Koordinatensystems zueinander senkrecht. Wenn dann der Mittelfinger in der Richtung der magnetischen Kraftlinien — hier von links nach rechts —, der Zeigefinger in die des Stromes — von hinten nach vorn — gelegt wird, so gibt der Daumen — von unten nach oben — die Richtung der elektromagnetischen Zugkraft an. Das unterste Blech hätte demnach weniger Kupfer, das oberste Blech mehr bekommen können. Die Elektrolyse im Felde der angegebenen Stärke ergab die Zahlen:

Oberes Blech	Mittleres Blech	Unteres Blech
0,6949	0,7703	0,8797
0,6817	0,7538	0,8676
<hr/> 0,0132 g	<hr/> 0,0165 g	<hr/> 0,0121 g

¹⁾ die mir Hr. Oberingenieur Dr. G. Stern freundlichst zur Verfügung gestellt hatte.

in Summa 0,0418 g. Die Steigerung von 0,0399 auf 0,0418 g bei unveränderter Zeit und Batteriespannung beruht vermutlich auf der von der Erwärmung — durch die Elektrolyse selbst oder durch Strahlung des Magneten — oder aus anderer Ursache bewirkten Verkleinerung des Widerstandes. Aus den abgeschiedenen Metallmengen sieht man, daß das Feld die Stromlinien *nicht* aufwärts gedrückt hat. Jedenfalls wäre eine Mehrabscheidung von 1,0 mg auf dem oberen Blech ganz klar erkannt worden. Es hat tatsächlich erhalten 13,2 mg. Bei Mehrabscheidung von 1 mg wären demnach die auf ihm mündenden Stromfäden um $1/13,2$ ihrer Anzahl vermehrt worden, d. h. sie wären um den gleichen Teil der Blechhöhe, also um $14,5/13,2 = 1,1$ mm nach oben gedrückt worden. Die Elektroden waren 45 mm voneinander entfernt. Die die Ionen elektromagnetisch aufwärts treibende Kraft mußte also 1,1 betragen haben, wenn die sie im Strome elektrolytisch vorwärts treibende Kraft 45 groß war, d. h. die erste wäre als wirksam ganz sicher erkannt worden, wenn sie von der zweiten mehr als 3 Proz. betragen hätte. Der Versuch beweist demnach, daß, wenn überhaupt eine Ablenkung der Stromfäden im Elektrolyten stattfindet, sie unter den vorliegenden Bedingungen weniger, vermutlich sogar sehr viel weniger als 3 Proz. ausmacht, und bestätigt die Resultate von Florio, Chiavassa, Donnan und Moretto. In Übereinstimmung damit gelang es mir — wenigstens bei einem einmaligen Versuche — auch nicht, die von Des Coudres¹⁾ beschriebene Umformung von Wechselstrom in Gleichstrom mittels einer im Wechselfelde befindlichen Hallplatte auf Elektrolyte zu übertragen.

Trotzdem blieb aber der Widerspruch mit Roiti und Bagard. Auch verlangten eigene, ältere Beobachtungen, die mir damals als eine Ablenkung elektrolytischer Stromfäden erschienen waren, eine Fortsetzung der Versuche. Diese drehten sich besonders darum, mittels der an anderer Stelle²⁾ beschriebenen Tastmethode die Verteilung des Potentials V in einem stromdurchflossenen Elektrolyten zu bestimmen. Es

1) Th. Des Coudres, Physik. Zeitschr. 2. p. 586. 1901.

2) R. Heilbrun, Widerstand und Stromverlauf. Elektrotechn. Zeitschr. 25. 1904.

sollten zwei Parallelversuche die einander entsprechenden Potentialbilder innerhalb und außerhalb des Magnetfeldes liefern und aus diesen eine klare Drehung oder Nichtdrehung der Äquipotentiallinien¹⁾ ergeben. Das Blech wurde dabei durch den Inhalt einer elektrolytischen Wanne von den inneren Abmessungen 150.80.25 mm ersetzt, welcher gewöhnlich aus einer 5 proz. Lösung von Kupfersulfat²⁾ in einer Höhe von

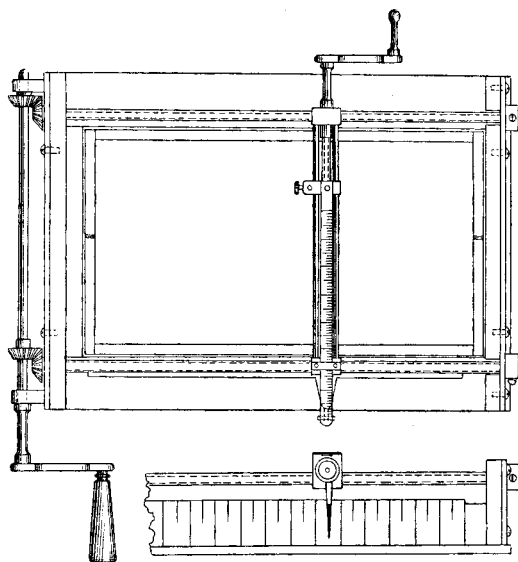


Fig. 1.

etwa 1 cm bestand. Aus der in ein Drittel natürlicher Größe gezeichneten Abbildung (Fig. 1) sieht man, wie über der aus ebenen Glasplatten zusammengekitteten Wanne ein Schlitten in beiden Achsenrichtungen x und y eines horizontalen Koordinatensystems leicht und sicher eingestellt werden kann. In den Schlitten wird vertikal ein dünner Kupferdraht als beweg-

1) Merkwürdigerweise scheint ein solches Tastbild bei Hallplatten wirklich durch den Versuch noch gar nicht aufgenommen, sondern immer nur aus der elektromotorischen Kraft der Hallelektroden für die Darstellung konstruiert worden zu sein.

2) Das Salz war zur Entfernung von Spuren von Eisen umkristallisiert worden.

liche *Sonde* eingespannt. Schlitten und Sonde dürfen sich natürlich nicht wesentlich über die Wanne erheben, damit das Ganze in dem jetzt 40 mm großen Interferikum des Elektromagneten Platz hat. Natürlich ist, wie man aus Fig. 2 sieht, der Magnet um 90° gedreht worden. Er wurde durch Eisenstangen, Drahtseile und Schraubzwingen in seiner unnatürlichen Lage gehalten. Den Schmalseiten der Wanne waren in der

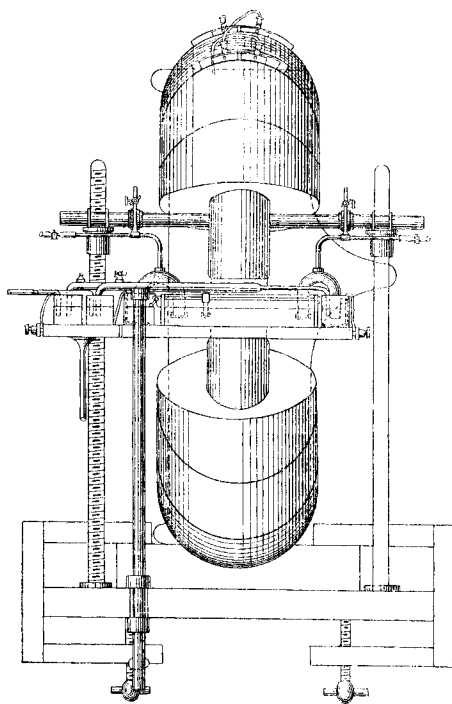


Fig. 2.

Mitte halbzyllindrische Elektroden aus massivem Kupfer aufgekittet. Sie dienten einem Strome zum Ein- und Austritt, der zwischen 10 und 100 Milliamp. wechselte. Sonde und linke Elektrode führten zu einem als Spannungszeiger geeichten Drehspulengalvanometer. Auch sonst wurde in der für Bleche ausgetrobnen Weise gearbeitet. Aber alle in vielfachster Wiederholung, ohne oder mit Feld angestellten Versuche lieferten keine schönen Potentialbilder. Einige waren zwar so, daß die Äquipotentiallinien wenigstens den

Charakter derer auf dem Blech hatten. Meistens sprang aber plötzlich eine der für ein $y = \text{const.}$ gemessenen Kurven $V = f(x)$ ganz aus dem Zusammenhang heraus, und die Äquipotentiallinien nahmen einen abenteuerlichen und nur durch die Reihenfolge der Messungen bestimmten Verlauf.

Zu diesem Resultate vereinigten sich eine Reihe von Fehlerquellen, welche vollständig zu überwinden nicht gelang. Erstens besaß das Elektrodenkupfer gegen den Elektrolyten

nicht die gleiche Potentialdifferenz, wie das Sondenkupfer. Diese konstante Abweichung hätte nichts geschadet. Sie konnte auch immer für längere Zeit durch gleichzeitiges Verkupfern der Elektroden und der Sonde in demselben Bade aufgehoben werden. Unangenehmer waren die durch die Elektrolyse selbst bewirkten Konzentrationsverschiebungen. Sie machten sich in einer mit der Dauer der Elektrolyse anwachsenden, bei Wannenkurzschluß verschwindenden elektromotorischen Gegenkraft an den Wannenklappen bemerkbar. Sie hätten durch Verwendung eines Elektrolyten, wie Silbernitrat, gehoben werden können, dessen Ionen annähernd gleiche Wanderungsgeschwindigkeiten besitzen. Es wurde aber Kupfersulfat beibehalten und der Strom unter Beachtung der Uhr regelmäßig kommutiert.

Auch jetzt war das Resultat nicht befriedigend, und das Siemens & Halskesche Galvanometer wurde durch mein früher beschriebenes Elektrolytgalvanometer¹⁾ ersetzt. Natürlich durfte dieses nicht in seiner alten Form verwandt, sondern mußte nach dem Drehspulenprinzip umkonstruiert werden, so daß der in Fig. 3 in etwa ein Fünftel natürlicher Größe gezeichnete Apparat entstand. Zwischen den Polschuhen eines Magnet-systems, das aus einem Telephoninduktor stammt, hängt drehbar ein U-förmiges Glasrohr, das mit seinen Schenkeln unten in Glasnäpfe taucht. Glasrohr und Glasnäpfe sind mit Schwefelsäure gefüllt. Die Säure soll nur so hoch stehen, daß die Enden der beiden Windungsschenkel eben ihr Niveau berühren. Tauchen sie auch nur wenig tiefer ein, so drücken Reibung und Kapillarität die Empfindlichkeit außerordentlich herab. Wie üblich, dient ein Kern aus weichem Eisen zur Verkleinerung des magnetischen Widerstandes, ein Kupferrahmen zur Dämpfung. Aus der Wanne führten, wie in Figg. 2 und 4 gezeichnet — unter Vermittelung von Zwischengefäßen —, mit Schwefelsäure gefüllte Röhren zum Galvanometer. Galvanometer und Zwischengefäße standen auf Tischchen, deren Höhe durch Mikrometerschrauben genau eingestellt werden konnte.

1) R. Heilbrun, l. c. — Übrigens ist mir nicht bekannt, ob das Instrument jemals nachgebaut worden ist. Natürlich kann seine Empfindlichkeit sehr viel größer gemacht werden, als sie es damals bei dem ersten Modell war. Man könnte sie sogar vielleicht so weit treiben, daß sie zur Messung von Potentialdifferenzen von Flüssigkeiten ausreicht.

Die Röhren hingen an je zwei Stellen mittels kleiner Blechmanschetten an Bindfäden, und diese waren je über eine feste Rolle mit einem Gegengewicht ausbalanciert. Am Wannenende

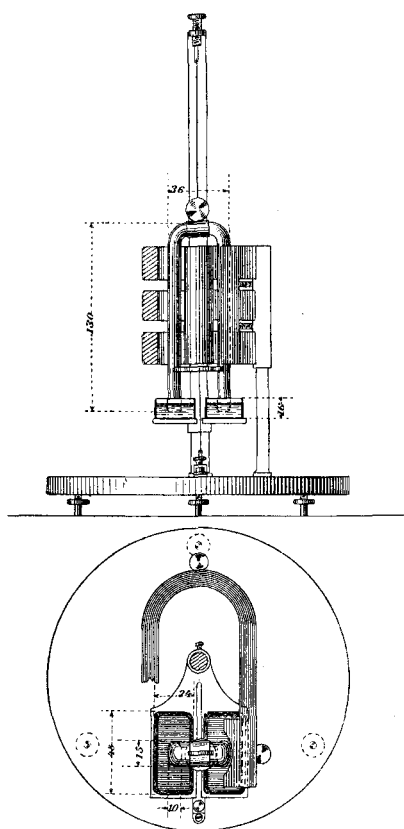


Fig. 3.

liefen die Röhren in mit Diaphragmen aus Pergamentpapier¹⁾ verschlossene Sonden — eine feste und eine bewegliche — aus. Die bewegliche Sonde war dabei mittels einer aufgekitteten Metallfassung in den Schlitten der Wanne eingesetzt. Um dann den Schlitten bewegen zu können, war ein großer Teil der Glasröhre durch einen Gummischlauch ersetzt (Fig. 4). Das Arbeiten mit dem Elektrolytgalvanometer und den an 2 m langen, mit Schwefelsäure gefüllten Glasröhren war gegen alle Erwartung kaum weniger angenehm, als mit jedem anderen Galvanometer. Auch die Empfindlichkeit war ausreichend, trotzdem der Widerstand des Instrumentes allein von 70 Ohm durch die lange Säureleitung auf 1000 Ohm erhöht wurde. Jedes Volt an den Enden der elektrolytischen Leitung ergab auf der vom Spiegel 2 m entfernten Skala 20 mm Ausschlag.

Trotzdem wurden für dieselbe Sondenstellung bei verschiedenen Versuchen kaum jemals gleiche Galvanometerausschläge

1) Mit dem Korkbohrer wurden aus Pergamentpapier Scheibchen ausgestanzt und diese mit ein wenig dünnflüssigem Siegelack den Röhrenöffnungen aufgeklebt.

gemessen. Auch das erwähnte jedesmalige Kommutieren des Wannenstromes — unter Pufferung des Ausschlages mit Hilfszelle und Taster — half nicht recht. Ebenso wenig das Herauslegen der Kupferelektroden in Vorgefäße und die Verbindung von Wanne und Vorgefäßen durch mit Kupfersulfat gefüllte Heber, wodurch auch die Verschmutzung der Wanne mit Schwammkupfer verhindert wurde. Ebenso wenig die Zuführung des

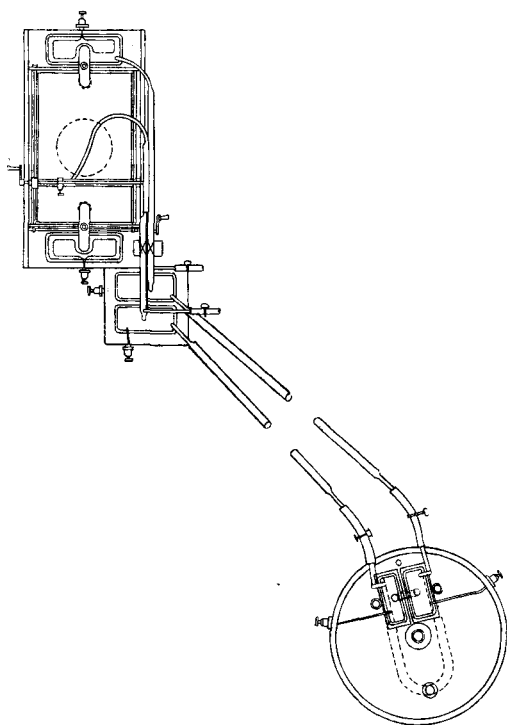


Fig. 4.

Wannenstromes auf elektrolytischem Wege, wie sie die Anordnung der Figg. 2 und 4 zeigt. Es führten dann aus beiden je als halbe Akkumulatorenzelle fungierenden Vorgefäßen schwefelsäuregefüllte, mit Pergamentdiaphragmen verschlossene Heber in das Kupfersulfat, das auf diese Weise ohne jede Kupferausscheidung elektrolysiert wurde.

Natürlich wurde immer peinlich auf Konstanz der speisen-

den Batterie geachtet. Nach dem Abschalten arbeitete sie, um das sogenannte Erholen der Spannung zu vermeiden, auf einen dem der Wanne gleichen Belastungswiderstand.

Von vornherein war als gefährlichste Störungsquelle die Widerstandsverminderung des Elektrolyten durch den Strom selbst angesehen worden. Bei den Versuchen vergrößerte sich fortwährend der Strom. Um trotzdem die Potentialverteilung möglichst unverändert zu lassen, wurde der Widerstand des Stromkreises außerhalb des zu untersuchenden Elektrolyten möglichst klein gemacht. Wäre dieser Widerstand Null gewesen, mit anderen Worten der Angriffspunkt der elektromotorischen Kraft der Batterie unmittelbar an die Wannenklemmen verlegt worden, so hätte sich trotz steten Anwachsens des Stromes die Potentialverteilung in der Wanne nicht geändert. Der äußere Widerstand war aber natürlich nicht Null.

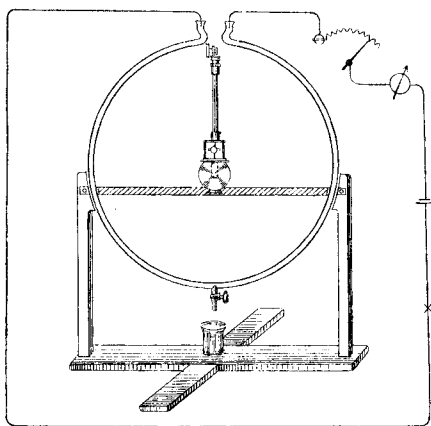


Fig. 5.

Er wird von Drähten und den großen Elektrolytmassen der Zellen geliefert, und wird sich durch die nicht sehr großen Ströme wenig ändern. Da die Verminderung des Wannenvierstandes den Strom vergrößert, vergrößert sie auch die in dem äußeren Widerstande verlorene Spannung, d. h. die Wannenspannung sinkt. Tatsächlich wanderte der Ausschlag des gewöhn-

lichen —, sowohl wie des Elektrolytgalvanometers, im Sinne seiner Verkleinerung fortgesetzt durch das Gesichtsfeld. Dieses Wandern wurde auch durch die Einführung eines mit Wasser durchspülten Kühlrohres in die Wanne nicht gehoben.

Für ganz schwache Ströme würde es mit dem gewöhnlichen Galvanometer jedenfalls gelingen, Potentialbilder aufzunehmen. Da aber der Effekt, wenn überhaupt, nur bei stärkeren Strömen erwartet wurde, wäre die Aufnahme bei schwachen

Strömen ohne jeden Zweck gewesen. Denn daß elektrolytische Ströme den gleichen Gesetzen folgen, wie metallische, ist bekannt.¹⁾

Des weiteren wurde von dem Effekt erwartet, daß er zu seiner Ausbildung Zeit braucht. Sonst hätte man einen kurzen elektrolytischen Sondenkreis elektromagnetisch mit dem Kreise eines Schwingungsgalvanometers kuppeln können. Dazu wäre ein Elektrolyt-Kupferdrahttransformator benutzt worden, wie es im Prinzip von Sheldon und Downing²⁾, von Urbasch³⁾ und von mir⁴⁾ geschehen ist. Der Transformator hätte dann als Kerntype konstruktiv etwas durchgebildet werden müssen. Aus dem Stoßausschlage des gleich mit Transformator geeichten Galvanometers bei Öffnen oder Schließen des Wannenstromes hätte sich dann die Potentialverteilung im Elektrolyten ergeben. Die Methode könnte wohl anderweitig Verwendung finden. Hier war sie zwar wegen der völligen Trennung des Elektrolyten vom Galvanometerkreis aussichtsvoll, aber wegen der allmählichen Ausbildung des Effektes unbrauchbar.

Denn, daß man von einem Effekt zu sprechen berechtigt war, d. h. daß die Potentialverteilung im Elektrolyten sich durch das Magnetfeld tatsächlich änderte, war bei unserer Versuchsanordnung klar zu beobachten. Für eine große Anzahl von Sondenstellungen — nicht für alle — änderte sich mit dem Einschalten des Feldes der Ausschlag des entfernt aufgestellten und durch seine Konstruktion magnetisch geschützten Spannungszeigers. Dabei war es sogar einigermaßen gleichgültig, ob ein elektrolytisches oder ein gewöhnliches Galvanometer oder selbst nur ein Voltmeter benutzt wurde. Freilich wurden auch hier bei Wiederholung des Versuches nie Zahlen erhalten, welche sich deckten. Die inzwischen eingetretenen

1) Man kann das übrigens mit der Flüssigkeitstangentenbussole der Fig. 5 augenfällig zeigen. Die Ablenkungen ihres Spiegels sind bei gleichen Strömen dieselben, gleichgültig, ob das an Stelle des Kupferbügels vorhandene Glasrohr mit Quecksilber oder einem Elektrolyten gefüllt ist.

2) S. Sheldon u. A. M. W. Downing, *Phys. Rev.* **7.** p. 122. 1898.

3) O. Urbasch, *Zeitschr. f. Elektrochemie* **7.** p. 115. 1900.

4) R. Heilbrun, l. c.

Änderungen des normalen Galvanometerstandes verschleierte die Verschiebungen des Potentials, die übrigens der Stärke des fließenden Stromes und der Stärke des magnetischen Feldes ungefähr proportional sein mochten. Die Umkehrung des Feldes kehrte im Gegensatz zu den Beobachtungen anderer den Effekt nicht um. Um ein Beispiel zu geben, wurde bei ungefähr 50 Milliamp. und 4000 Linien pro cm^2 in mehreren Fällen der Galvanometeraussschlag um etwa 15—16 Proz. geändert. Weitere Zahlen anzuführen, halte ich nicht für angezeigt.

Sehr charakteristisch war, ob man die Angaben von Roiti und Baggard im Gedächtnis hatte oder nicht, die Zeit, die der Effekt zu seiner vollen Ausbildung und zu seinem Verschwinden brauchte. Fig. 6 gibt ihn als Funktion der Zeit

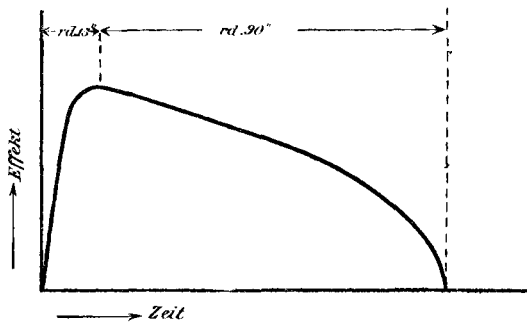


Fig. 6.

nach ungefähre Beobachtung mit der Sekundenuhr wieder. Das Ansteigen ist dabei leidlich richtig gezeichnet, aber der Abfall gegen Ende plötzlicher, als er in der Regel beobachtet wurde.

Man wird gleich sehen, wie sich aus den angeführten, mehr qualitativen Resultaten trotzdem eine klare Schlußfolgerung ziehen läßt, wenn man versucht, den zwischen den beiden Gruppen von Autoren und sogar zwischen meinen eigenen nach verschiedenen Methoden angestellten Versuchen vorhandenen Widerspruch zu lösen. Von Anfang an, noch als ich in der in so mancherlei Beziehung beschränkten Brünner Umgebung mit dem unvollkommenen Vorläufer meiner späteren Wanne arbeitete, hatten mir die Rotationen Besorgnis eingeflößt, in die der stromdurchflossene Elektrolyt im magne-

tischen Felde geriet. Sie zeigten sich ebenso, nur stärker, als die des Quecksilbers in gleicher Lage. Denn, wenn der auf die Ionenbahnen ausgeübte elektromagnetische Druck beim Elektrolyten ebenso wie beim Quecksilber eine Drehung der ganzen Flüssigkeit zustande brachte, wo blieb dann die seitliche Beweglichkeit der Ionen in der Flüssigkeit? Es kam darauf an, die Rotationen hintenzuhalten. Die Flüssigkeit konnte dann nicht mehr ausweichen, und es wurde erwartet, daß sich dann die Ionenbahnen in ihr verschieben würden. Man hätte dazu leitende oder nichtleitende, siebartige oder massive Zwischenwände als Barrieren in die Flüssigkeit einsetzen können. Ich wählte als radikales Mittel das Gelatinieren¹⁾ des Elektrolyten. Inzwischen waren mir zwei interessante Arbeiten bekannt geworden. Die erste, von Drude und Nernst²⁾, handelt von dem Einfluß der Temperatur und des Aggregatzustandes auf das Verhalten des Wismut im Magnetfelde. Obgleich der Halleffekt sonst mit steigender Temperatur abnimmt, fanden Drude und Nernst beim geschmolzenen Wismut plötzlich einen außerordentlich großen Effekt von der Art eines Hall-schen und eine Widerstandsvermehrung. Die Lektüre dieser Arbeit, gemeinsam mit einer von Des Coudres³⁾, in welcher eine allmählich eintretende und verschwindende Widerstandszunahme rotierenden Quecksilbers beschrieben wird, kehrten die Erwartungen, welche ich über den Ausfall des Gelatineversuches hegte, einfach um. Jetzt schienen die Flüssigkeitswirbel nicht mehr dem Effekte schädlich, sondern seine Ursache zu sein. Diese neue Erwartung wurde nun durch den Versuch bestätigt. Denn der in aller Schärfe beobachtete, wenn auch natürlich wie immer in seiner Größe etwas schwankende Effekt, blieb plötzlich und vollständig aus, als die Flüssigkeit gelatinirt wurde. Eine mehrfache Wiederholung des Versuches ergab stets das gleiche Resultat. Die in der beweglichen Flüssigkeit durch das Magnetfeld hervorgerufenen Potentialverschiebungen blieben in der unbeweglich gemachten

1) Die Auslösung dieses Gedankens war dadurch erleichtert, daß früher, allerdings zu anderem Zwecke, Hr. R. Abegg die Güte gehabt hatte, mich auf das Gelatinieren aufmerksam zu machen.

2) P. Drude u. W. Nernst, Wied. Ann. **42**. p. 568. 1891.

3) Th Des Coudres, Verhandl. d. Physik. Gesellsch. **10**. p. 50. 1891.

Flüssigkeit klar und eindeutig aus. Unterstützt durch die Beobachtungen von Drude und Nernst und von Des Coudres¹⁾ beweist der Gelatineversuch, *daß es im Elektrolyten keine elektromagnetische Ablenkung der Stromfäden gibt, und daß die von Roiti, Bagard und mir trotzdem beobachtete auf sekundärer Ursache, nämlich auf den Rotationen der Flüssigkeit beruht.*

Die Erzeugung solcher Rotationen auf anderem als elektromagnetischem Wege, also etwa durch zwei kleine, in die stromdurchflossene Flüssigkeit eingesetzte Rührer, würde das Resultat jedenfalls bestätigen. Daß einzelne Physiker die Potentialverschiebungen nicht beobachten konnten, muß an ihren Versuchsanordnungen gelegen haben. Die Flüssigkeitswirbel konnten nicht aufkommen, wie es bei den getränkten Papieren von Moretto deutlich ist. Die Wirbel an sich hatten für mich und wohl überhaupt kein Interesse. Da sie in ihrer Stärke von Strom und Feld abhängen, ist gleiches auch mit der Potentialverschiebung der Fall. Da sie weiter zu ihrer Ausbildung und Bremsung Zeit brauchen, tut das auch der sogenannte Halleffekt, was man durch gleichzeitiges Beobachten von Flüssigkeitswirbel und Galvanometerablenkung bestätigen kann.

Sollte es noch weiterer Beweise für die Nichtexistenz des Halleffektes bei Elektrolyten bedürfen, so bliebe die Untersuchung fester Elektrolyte, wie z. B. der Nernstkörper, die man vielleicht auch zu dünnen Platten schleifen kann.

Ob am Ende, wie einem immer wieder das Gefühl sagt, auch der Halleffekt bei Leitern erster Ordnung sekundärer Natur ist und vielleicht auch auf Rotationen beruht, ist eine Frage, die wohl zunächst die Elektronentheoretiker angeht.

1) Eine Widerstandsänderung des Wanneninhaltes war nicht klar und eindeutig festzustellen.