IV. Experimenteller Beweis, daß der galvanische Leitungswiderstand von der Bewegung des Leiters abhängig ist; von E. Edlund.

1.

In meiner Abhandlung „*Théorie des phénomènes électriques*“¹⁾ habe ich auf theoretischem Wege zu beweisen gesucht, daß der galvanische Leitungswiderstand der Stromstärke proportional seyn muß. Diese Schlussfolgerung aus der Theorie widerspricht der allgemeinen bisher angenommenen Ansicht, nach welcher der Leitungswiderstand von der Stromstärke unabhängig seyn soll. Bei einer genauern Untersuchung der Verhältnisse findet man jedoch, daß die bisher angestellten experimentellen Untersuchungen zu einer solchen Annahme keinesweges berechtigen. Ich habe nämlich in der genannten Abhandlung gezeigt, daß die verschiedenen Methoden, die um den Widerstand zu messen, bisher angewandt worden sind, in der That ganz unentschieden lassen, ob der Leitungswiderstand von der Stromstärke abhängig ist oder nicht²⁾. Um die Frage auf experimentellem Wege zu lösen, habe ich deswegen folgende Versuche angestellt.

Wenn i die Stromstärke, α der Querschnitt des Leiters, δ die Masse des freien Aethers in der Volumeneinheit des Leiters (welche Masse, wenn es sich um den galvanischen Strom handelt, als unveränderlich betrachtet werden kann) und h die Geschwindigkeit des Aethers bedeutet, so hat man nach der Theorie $i = \delta a h$. Die Stromstärke wird also durch die Aethermasse gemessen, welche den Querschnitt des Leiters in der Zeiteinheit durchfließt. Dieses Maas habe ich das mechanische Maas der Stromstärke

1) K. Svenska Vetenskaps Akademiens Handlingar: Stockholm, Norstedt et Söner. Leipzig bei F. A. Brockhaus.

2) Ibid. S. 25.

genannt¹⁾). Wenn r_0 den Leitungswiderstand der Längeneinheit des Leiters, wenn er von der Einheit der Stromstärke durchflossen wird, bezeichnet, so ist r_0 der Leitungswiderstand in der bisher gewöhnlichen Bedeutung, und diesen Widerstand habe ich, um denselben von denjenigen Widerständen, die bei anderen Stromstärken stattfinden, zu unterscheiden, den *principalen* Leitungswiderstand genannt²⁾). Wenn r den Widerstand bei der Stromstärke i bezeichnet, so hat man folglich nach der genannten Theorie $r = r_0 i$, oder, wenn i eliminirt wird, $r = r_0 \delta a h$.

Nach der Theorie ist also der Leitungswiderstand r der *relativen* Geschwindigkeit zwischen den Aethermoleculen und den Moleculen des Leiters proportional. Wenn folglich der Leiter eine Geschwindigkeit h_1 in derselben Richtung, in der der Aether strömt, erhält, so wird der Widerstand r vermindert; es wird nämlich dann

$$r = r_0 \delta u (h - h_1).$$

Wenn man dagegen dem Leiter dieselbe Geschwindigkeit h_1 , aber in entgegengesetzter Richtung ertheilt, so wird der Widerstand vergrößert und man erhält

$$r = r_0 \delta a (h + h_1).$$

Nachdem die Stromstärke constant geworden, muß nach der Theorie die elektromotorische Kraft der Kette der Summe aller Leitungswiderstände gleich seyn. Wenn also die elektromotorische Kraft und der principale Leitungswiderstand der Kette respective mit E und R_0 bezeichnet werden, und wenn r_0 den principalen Widerstand in dem Leiter, der die Pole der Kette verbindet, und i die Stromstärke bedeuten, so ist: $E = R_0 i + r_0 i$; woraus $i = \frac{E}{R_0 + r_0}$.

Wenn nun dem Leiter, dessen principaler Leitungswiderstand r_0 ist, eine Geschwindigkeit $\pm h_1$ ertheilt wird,

1) Ibid. S. 10.

2) *Théorie des phénomènes électriques* p. 24.

so wird zufolge des oben Gesagten, wenn i_1 die Stromstärke bedeutet:

$$E = R_0 i_1 + r_0 (i \mp \delta a h_1);$$

woraus

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

Der Unterschied der beiden Ströme wird folglich:

$$i - i_1 = \frac{\mp r_0 \delta a h_1}{R_0 + r_0} \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Die Veränderung in der Stromstärke, die dadurch entsteht, daß der Leiter in Bewegung versetzt wird, ist also der Geschwindigkeit h_1 und dem Querschnitte a des Leiters proportional. Wenn der Widerstand R_0 so gering ist, daß derselbe im Vergleich mit r_0 vernachlässigt werden kann, so wird die Veränderung der Stromstärke von dem Leitungswiderstande unabhängig.

Beim ersten Anblick könnte man vermuthen, daß die Geschwindigkeit h_1 , die mit zugänglichen Hülfsmitteln dem Leiter ertheilt werden kann, so gering sey im Verhältniß zu der Geschwindigkeit h des Aethers, daß die fragliche Veränderung der Stromstärke auch mit dem empfindlichsten Galvanometer nicht beobachtet werden könne. Die Erklärung, die ich in der genannten Abhandlung (S. 56) über Quincke's Diaphragmenströme gegeben, deutet jedoch darauf hin, daß die Beobachtungen ausführbar seyn müssen. Ich beschloß deswegen das theoretische Resultat auf experimentellem Wege zu prüfen.

2.

Besondere mechanische Anordnungen würden erforderlich seyn, wenn man *festen* Leitern die für diese Versuche nöthige Geschwindigkeit geben wollte. Ich habe deswegen Flüssigkeiten angewandt, welche mit Leichtigkeit in eine hinreichend große Geschwindigkeit versetzt werden können. Dabei zeigen sich jedoch zwei Uebelstände, deren schädliche Einwirkungen sorgfältig vermieden werden müssen. Der eine dieser Uebelstände ist die galvanische

Polarisation auf den Polplatten, durch welche der galvanische Strom in die Flüssigkeit hineingeleitet und aus derselben ausgeführt wird; der andere besteht darin, daß es schwierig ist, die beiden Polplatten in galvanischer Hinsicht einander so gleich zu machen, daß nicht dadurch ein schwacher Strom entsteht, sobald dieselben in die Flüssigkeit eingesetzt werden. Weder die Polarisation der Polplatten noch deren Ungleichheit in galvanischer Hinsicht würde indessen eine für die Versuche schädliche Wirkung haben, wenn diese beiden Umstände sich nicht veränderten, sobald die Flüssigkeit in Bewegung kommt; es zeigt sich aber, daß eine solche Veränderung wirklich stattfindet. Die Versuche können deswegen nicht auf die einfache Weise angestellt werden, daß man einen galvanischen Strom durch die Flüssigkeit gehen läßt und die Stromstärke mißt, erstens während die Flüssigkeit in Ruhe ist und zweitens nachdem man dieselbe in Bewegung gesetzt hat; denn da sowohl die Polarisation wie die galvanische Beschaffenheit der Polplatten sich durch die Bewegung der Flüssigkeit verändert, so kann man den beobachteten Unterschied der Stromstärken eben sowohl von dieser Veränderung wie von einer Veränderung in dem Leitungswiderstande der Flüssigkeit herleiten.

Nachdem einige vorgeschlagene Beobachtungsmethoden, für welche eine nähere Erörterung hier nicht nöthig seyn dürfte, practisch geprüft und nicht vortheilhaft befunden worden, wählte ich schließlicb folgendes Verfahren, welches gute Resultate lieferte. (Siehe Fig. 1 Taf. I.)

ab ist ein cylindrisches Glasrohr, das überall dieselbe Weite hat und mit drei Seitenrohren *c*, *d* und *e* versehen ist. Die Abstände zwischen *c* und *d* und zwischen *d* und *e* sind so weit möglich gleich groß. In jeder dieser Seitenrohren ist mittelst Kork und Siegellack ein Golddraht befestigt, auf dessen Ende eine kreisrunde Goldscheibe sitzt. Auf jedem Ende des Glasrohres ist eine mit Schraubengängen versehene Metallhülse befestigt, mittelst deren das Glasrohr auf das Kupferrohr, durch welches die zu unter-

suchende Flüssigkeit in das Glasrohr hineinströmt, geschraubt werden kann. *G* stellt das bei den Versuchen benutzte Magnetometer vor, dessen fast vollständig astatisches Nadelsystem an einem feinen silbernen Draht aufgehängt ist. Die Gleichgewichtslage des Nadelsystems ist beinahe ganz unabhängig von den Veränderungen des erdmagnetischen Declinationsplanums, weil dieselbe fast ausschließlich von der Torsion der Drähte bestimmt wird. Die Schwingungszeit des Nadelsystemes macht ungefähr 28 Secunden aus. Durch eine dicke Kupferhülse, die die eine Magnetnadel umgiebt, wird eine so starke Dämpfung hervorgebracht, daß das Nadelsystem nach wenigen Schwingungen seine Gleichgewichtslage einnimmt. Die Ablesung geschieht auf gewöhnliche Weise mit Hülfe von Fernrohr und Scale. Obgleich die Empfindlichkeit des Magnetometers durch eine andere Anordnung möglicherweise hätte größer seyn können, besitzt es doch den großen Vortheil einer fast unveränderlichen Gleichgewichtslage, welcher Umstand von großem Werthe ist. Bei den Versuchen wurden zwei von den Drahtlagen des Magnetometers, in welchen der Leitungswiderstand und die Anzahl der Veränderungen gleich groß waren, benutzt. Die Enden des Drahtes in der einen Drahtlage sind mit den Klemmschrauben *f* und *g*, und die des Drahtes in der andern mit *h* und *n* verbunden. Bei *k* ist ein Elektromotor eingeschaltet, dessen einer Pol mit *g* und *h* und der andere mit dem Golddraht in dem mittleren Seitenrohr *d* verbunden ist. Die Golddrähte der äußeren Seitenröhren *c* und *e* sind mittelst Leitungsdrähte mit *f* und *n* vereinigt.

Wenn das Glasrohr mit Flüssigkeit gefüllt ist und diese sich in Ruhe befindet, so theilt sich der Strom des Elektromotors zwischen den zwei Leitungen, und diese zwei Stromtheile gehen durch die Umwindungen des Magnetometers in entgegengesetzter Richtung. Die Widerstände der zwei Leitungen sind so gleich wie möglich und die Polarisation in der einen muß ebenso der in der

anderen gleich seyn; weil die Polarisirung der Goldscheibe in dem mittleren Seitenrohr dieselbe Wirkung auf beide Stromtheile ausübt, und die Polarisirung der beiden äußeren Polescheiben von derselben Art und GröÙe seyn muß. Die beiden Stromtheile müssen deswegen fast dieselbe GröÙe haben und die Summe ihrer Wirkungen auf das Magnetometer beinahe gleich Null werden. Es zeigte sich auch bei den Versuchen, daß die Gleichgewichtslage des Nadelsystems nur um wenige Scalentheile von der Gleichgewichtslage, die das Nadelsystem einnahm, wenn kein Strom die Umwindungen des Magnetometers durchlief, verschieden war.

Wenn die Flüssigkeit sich z. B. von *a* nach *b* bewegt, so geht der eine Theil des galvanischen Stroms in derselben Richtung wie die strömende Flüssigkeit, der andere Stromtheil aber in entgegengesetzter Richtung gegen dieselbe. Ist der positive Pol des Elektromotors mit der Goldscheibe in dem mittleren Seitenrohr verbunden, so gehen der Flüssigkeitsstrom und der galvanische Stromtheil *de* in derselben Richtung; der Stromtheil *cd* aber in umgekehrter Richtung gegen den Strom der Flüssigkeit. Ist dagegen der negative Pol der Kette mit derselben Goldscheibe vereinigt, so ist das Verhältniß umgekehrt. Wenn nun der Leitungswiderstand, wie es die Theorie fordert, von der Bewegung der Flüssigkeit abhängig ist, so werden die zwei Stromtheile nicht gleich groß, und die Magnetnadel des Magnetometers muß demzufolge einen Ausschlag machen, dessen Richtung sich leicht vorher bestimmen läßt. Es giebt aber auch eine andere Ursache dazu, daß die Magnetnadel ihre Gleichgewichtslage verändern kann. Sobald die Flüssigkeit in Bewegung kommt, wird die Polarisirung der drei Goldscheiben verändert. Die Veränderung der Polarisirung auf der mittleren Polplatte hat jedoch keinen Einfluß auf die *relative* Stärke der beiden Stromtheile, weil diese Polplatte gemeinschaftlich für beide ist und die Veränderung der Polarisirung eine gleiche Wirkung auf beide Ströme aus-

üben muß. Eine Veränderung in der Polarisation dieser Polplatte kann also keinen Ausschlag der Magnetsnadel verursachen. Die äußeren Polplatten aber verhalten sich nicht auf dieselbe Weise. Obgleich man so viel wie möglich versucht, diesen Platten dieselbe Größe, Form und Lage zu geben, so kann sich doch eine kleine Verschiedenheit zwischen beiden in dieser Hinsicht vorfinden, und zufolge derselben kann die Veränderung, die das Ausströmen der Flüssigkeit in der Polarisation bewirkt, etwas größer auf der einen Platte als auf der anderen ausfallen. Eine Verschiedenheit zwischen den beiden Polplatten ist unter allen Verhältnissen vorhanden, und diese besteht darin, daß, während des Ausströmens der Flüssigkeit, die obere Polscheibe einem größeren Drucke als die untere ausgesetzt ist. Es ist also möglich, daß die Magnetsnadel aus dieser Ursache einen kleinen Ausschlag machen kann. Den Ausschlag, der durch die Veränderung der Polarisation entsteht, kann man jedoch so gering wie man will machen, wenn man für die Versuche Flüssigkeiten wählt, die einen hinreichend großen Widerstand besitzen. Uebrigens geht es aus den angestellten Versuchen hervor, daß die *Richtung* des Ausschlages ausschließlich dadurch bestimmt wird, daß der Widerstand der Flüssigkeit geringer wird, wenn dieselbe sich in gleicher Richtung mit dem galvanischen Strome bewegt, aber größer, wenn die Richtung entgegengesetzt ist.

Die Versuche gestalteten sich folgendermaßen: Wenn der positive Pol des Elektromotors mit der Goldscheibe in dem mittleren Seitenrohr verbunden war, erhielt ich, sobald die Flüssigkeit in Bewegung von *a* nach *b* versetzt wurde, einen Ausschlag, der zu erkennen gab, daß derjenige Stromtheil, der die Flüssigkeitssäule *de* durchlief, das heißt also der Stromtheil, der gleiche Richtung mit dem Flüssigkeitsstrom hatte, eine größere Stärke als der andere besaß. Die Ursache hierzu könnte nun entweder darin liegen, daß der Widerstand in der Flüssigkeitssäule *de* geringer und in der Säule *cd* größer wurde, als wenn

die Flüssigkeit in Ruhe war, oder auch möglicherweise darin, daß durch die Bewegung der Flüssigkeit die Polarisirung der Polscheibe *e* schwächer als die der Polscheibe *c* wurde. Wenn eine verschiedene Veränderung in der Polarisirung der beiden Polplatten durch die Bewegung der Flüssigkeit wirklich entstand, so mußte dieses darauf beruhen, daß die Polplatten in den Seitenröhren *c* und *e* in Hinsicht auf Gröfse, Form und Lage von einander etwas verschieden waren, oder auch, daß die eine einem gröfseren Drucke als die andere ausgesetzt war. Aus einem einzigen Versuch kann man also nicht mit Sicherheit schließen, daß der Leitungswiderstand von der Bewegung der Flüssigkeit abhängig ist. Darauf wurde das Glasrohr umgekehrt, so daß die Flüssigkeit das Rohr von *b* nach *a* durchlief, während alles Uebrige unverändert blieb. Die Richtung des erhaltenen Ausschlages war der früheren entgegengesetzt, woraus folgt, daß derjenige Stromtheil, der die Flüssigkeitssäule von *d* nach *c* durchströmte, also dieselbe Richtung wie der Flüssigkeitsstrom hatte, stärker als der andere war. Aus diesen beiden Versuchen folgt, daß die Verschiedenheit, die zwischen den beiden äußeren Polscheiben in Hinsicht auf Gröfse, Form und Lage stattfinden konnte, und die darauf beruhende Veränderung der Polarisirung keinen Einfluß auf die Richtung des Ausschlages hatte. Wenn wie in dem ersten Versuche die Flüssigkeit sich von *a* nach *b* bewegte, und der negative Pol des Elektromotors statt des positiven mit der Goldscheibe in dem mittleren Seitenrohre verbunden war, gab der erhaltene Ausschlag zu erkennen, daß der Stromtheil, der die Flüssigkeitssäule *cd* durchging, also derjenige, der dieselbe Richtung wie der Flüssigkeitsstrom hatte, eine gröfsere Stärke als der andere besaß. In den zwei ersten Versuchen ging also der stärkere galvanische Stromtheil zwischen der mittleren Polscheibe und derjenigen der zwei äußeren, die dem *geringeren* Drucke von der strömenden Flüssigkeit ausgesetzt war; in dem letzten Versuche aber ging der stärkere Strom zwischen der mitt-

leren Polscheibe und derjenigen der beiden äusseren, die den *größeren* Druck erlitt. Die Verschiedenheit in dem Drucke, dem die zwei äusseren Polscheiben während der Strömung der Flüssigkeit ausgesetzt waren, konnte also keinen Einfluß auf die Richtung des Ausschlages ausüben. Dagegen zeigte es sich bei allen den angestellten Versuchen, daß derjenige Stromtheil, der dieselbe Richtung wie der Flüssigkeitsstrom hatte, immer der stärkere war, und zu diesem Ergebniss kann es keine andere Ursache geben, als daß der galvanische Leitungswiderstand geringer wird, wenn der galvanische Strom sich in derselben Richtung wie die Flüssigkeit bewegt, und größer, wenn die Richtung entgegengesetzt ist.

Damit die Ausschläge regelmässig ausfallen, muß die benutzte Flüssigkeit einen großen Widerstand leisten. Welche Bedeutung der Widerstand in dieser Beziehung hat, ersieht man aus folgender Berechnung.

Wir bezeichnen mit r die Summe der principalen Widerstände in der Flüssigkeitssäule cd , in dem Leitungsdraht cf und in der einen Drahtlage des Magnetometers, und auf entsprechender Weise mit $r + \varrho$ die Widerstandssumme in der Flüssigkeitssäule de , in dem Leitungsdraht en und in der anderen Drahtlage. Weil diese Widerstandssummen einander so gleich wie möglich gemacht worden sind, muß ϱ eine sehr kleine Gröfse seyn. Wenn man nun annimmt, daß der negative Pol des Elektromotors mit der Goldscheibe in dem mittleren Seitenrohr verbunden ist, und daß die angewandte Flüssigkeit Wasser ist, so bedeckt sich diese Goldscheibe mit Wasserstoff, dessen polarisations-elektromotorische Kraft w genannt werden mag. Die beiden äusseren Polscheiben werden dagegen mit Sauerstoff überzogen, dessen polarisations-elektromotorische Kraft wir in dem Seitenrohr c mit s und in dem Seitenrohr e mit $s + \sigma$ bezeichnen. Weil die Polarisation auf diesen beiden Scheiben beinahe vollkommen gleich ist, so muß σ einen unbedeutenden Werth haben. Mit i bezeichnen wir den Stromtheil, der die Flüssigkeitssäule cd

und mit i_1 denjenigen, der die Säule de durchströmt. Die elektromotorische Kraft des Elektromotors wollen wir E , den principalen Widerstand desselben R und die ungetheilte Stromstärke J nennen. Dann hat man nach den Kirchhoff'schen Gesetzen für die Vertheilung des Stromes zwischen mehreren Leitern:

$$E - (w + s) = RJ + ir;$$

$$E - (w + s + \sigma) = RJ + i_1 (r + \varrho)$$

und

$$J = i + i_1.$$

Hieraus erhält man:

$$i_1 = \frac{Er - R\sigma - r(w + s + \sigma)}{2Rr + r^2 + R\varrho + r\varrho} \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

und

$$i = \frac{E(r + \varrho) + R\sigma - (r + \varrho)(w + s)}{2Rr + r^2 + R\varrho + r\varrho} \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

und folglich

$$i - i_1 = \frac{E\varrho + 2R\sigma + r\sigma - \varrho w - \varrho s}{2Rr + r^2 + R\varrho + r\varrho} \quad . \quad . \quad (4).$$

Dieser Unterschied $i - i_1$ bestimmt die Gleichgewichtslage der Magnetnadel, wenn die Flüssigkeit in Ruhe ist. Wenn aber die Flüssigkeit in Bewegung kommt, so verwandelt sich s in $s + \beta$, $s + \sigma$ in $s + \sigma + \beta_1$ und w in $w + \pi$. Werden die Stromtheile, die durch die Flüssigkeitssäulen cd und de strömen, respective mit i_{II} und i_{III} bezeichnet, so erhält man auf dieselbe Weise:

$$i_{III} = \frac{Er + R\beta - R\sigma - R\beta_1 - r(w + \pi + s + \sigma + \beta_1)}{2Rr + r^2 + R\varrho + r\varrho} \quad (5)$$

und

$$i_{II} = \frac{E(r + \varrho) + R\sigma + R\beta_1 - R\beta + (r + \varrho)(w + \pi + s + \beta)}{2Rr + r^2 + R\varrho + r\varrho} \quad (6)$$

woraus

$$i_{II} - i_{III} = \frac{E\varrho + 2R\beta_1 - 2R\beta + 2R\sigma + r\sigma + r\beta_1 - r\beta - \varrho(w + \pi + s + \beta)}{2Rr + r^2 + R\varrho + r\varrho} \quad (7).$$

Wenn man den ersten Unterschied (4) von dem letzten (7) abzieht, so erhält man den Ausdruck für den Ausschlag, der allein dadurch entsteht, daß die Polarisation

durch die Bewegung der Flüssigkeit verändert wird. Man bekommt auf diese Weise:

$$(i_{II} - i_{III}) - (i - i) = \frac{2R(\beta_i - \beta) + r(\beta_i - \beta) - \varrho\pi + \varrho\beta}{2Rr + r^2 + R\varrho + r\varrho} \quad (8).$$

Der Werth von ϱ ist aber so gering, daß $\varrho\pi$, $\varrho\beta$, $R\varrho$ und $r\varrho$ vernachlässigt werden können. Der Ausschlag u , der allein daraus entsteht, daß die Polarisation sich durch die Bewegung der Flüssigkeit verändert, wird also

$$u = \frac{\beta_i - \beta}{r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9).$$

Dieser Ausschlag ist folglich dem Leitungswiderstande der Flüssigkeit umgekehrt proportional. Was dagegen den Ausschlag betrifft, der durch die Veränderung des Leitungswiderstandes verursacht wird, so ist nach der Gleichung (1) dieser Ausschlag beinahe unabhängig von demselben Leitungswiderstande. Wenn man also für die Versuche Flüssigkeiten mit hinreichend großem Widerstande wählt, so kann man die Veränderungen in der Polarisation unschädlich machen, ohne daß die von der Veränderung des Leitungswiderstandes herrührenden Ausschläge dadurch vermindert werden. Uebrigens geht es aus der Gleichung (1) hervor, daß die fraglichen Ausschläge dem Querschnitte des Glasrohres und der Geschwindigkeit der Flüssigkeit proportional sind, dagegen unabhängig von der Stärke des angewandten galvanischen Stromes.

Von der großen Anzahl der auf die oben beschriebene Weise angestellten Beobachtungen, dürfte es für den vorgesetzten Zweck hinreichend seyn, nur folgende hier mitzutheilen.

3.

Zu den Versuchen wurde ein cylindrisches Gefäß von dickem, auf der Innenseite verzinnem Kupferblech benutzt, dessen Volumen ungefähr 25 Liter betrug. Die obere Wand war halbkugelförmig und mit drei Oeffnungen versehen. In der einen dieser Oeffnungen war ein Hahn be-

festigt, welcher mittelst eines Bleirohres mit einer Compressionsmaschine in Verbindung stand. Um die durch die Maschine hervorgebrachte Compression der Luft zu messen, konnte auf eine der anderen Oeffnungen ein Manometer aufgeschraubt werden. Dieselbe Oeffnung wurde auch benutzt, um einen Theil des Gefäßes mit Flüssigkeit zu füllen. In der dritten Oeffnung war ein mit Hahn versehenes Kupferrohr luftdicht festgesetzt. Derjenige Theil dieses Rohres, der sich innerhalb des Gefäßes befand, ging senkrecht beinahe bis zu dem Boden des Gefäßes. Derjenige Theil des Kupferrohres, der sich außerhalb des Gefäßes befand, war in der Form eines Halbkreises umgebogen, so daß der übrige Theil desselben senkrecht hinunter lief. Auf das untere Ende dieses Kupferrohres wurde das oben beschriebene Glasrohr geschraubt. Die durch das Glasrohr fließende Flüssigkeit wurde in einem auf dem Boden des Zimmers stehenden Gefäße von Glas oder Holz aufgefangen. Vor jedem Versuche wurde Luft in das Gefäß oberhalb der Flüssigkeit bis zu einem Druck von zwei oder drei Atmosphären über den äußeren Atmosphärendruck hinaus eingepreßt. Keine Maafsregeln wurden getroffen, um den Druck constant und unveränderlich zu halten, weswegen die Geschwindigkeit der Flüssigkeit sich während des Ausflusses verminderte. Dieser Uebelstand war jedoch von geringer Bedeutung, weil es bei dieser Untersuchung sich mehr darum handelte, einen experimentellen Beweis für die Abhängigkeit des Leitungswiderstandes von der Bewegung des Leiters als eine genaue Bestimmung der Gesetze dieser Abhängigkeit zu erhalten.

Versuch mit destillirtem Wasser.

Versuchsreihe 1. Das Glasrohr hatte einen inneren Durchmesser von $5,5\text{mm}$, der Abstand zwischen den Seitenröhren war 70 und die Länge des ganzen Rohres 270mm . Die Goldscheiben waren in den Seitenröhren so weit zurückgezogen, daß der Abstand von der Innenwand

des Glasrohres ein Centimeter betrug. Zuerst wurde versucht, ob ein Ausschlag nur durch die Bewegung der Flüssigkeit erhalten werden konnte, ohne daß ein Elektromotor bei *k* eingeschaltet war. Die Goldscheibe in dem mittleren Seitenrohre war hierbei mittelst eines einfachen Leitungsdrahtes unmittelbar mit den Klemmschrauben *g* und *h* verbunden. Wie zu erwarten war, konnte bei diesem Versuche keine Spur eines Stromes beobachtet werden.

Nun wurde eine Kette von zwei Daniell'schen Elementen bei *k* eingeschaltet. Die übrigen Drahtleitungen waren so angeordnet, wie die Fig. 1, Taf. I andeutet. Die Gleichgewichtslage, die die Magnetnadel einnahm, wenn das Glasrohr mit stillstehendem Wasser gefüllt war, wird in dem Folgenden mit *A* bezeichnet. Sobald der Hahn geöffnet und das Wasser folglich in Bewegung gesetzt wurde, machte die Magnetnadel einen Ausschlag. Der Scalentheil, bei welchem die Magnetnadel nach vollendetem Ausschlage zurückzukehren begann, ist mit *B*, und der Unterschied zwischen *A* und *B*, das heißt der Ausschlag, mit *D* angegeben.

Der negative Pol des Elektromotors war mit der mittleren Polscheibe verbunden. Der Wasserstrom ging von *a* nach *b*.

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>
617,0	619,0	2,0
617,0	618,8	1,8
617,0	619,1	2,2
		<hr/> Mittel 2,0.

Der Ausschlag zeigt, daß derjenige Theil des galvanischen Stromes, der von *c* nach *d* ging, das heißt in derselben Richtung wie der Wasserstrom, stärker als der andere war.

Das Glasrohr wurde nun umgekehrt, so daß der Wasserstrom dasselbe von *b* nach *a* durchging. Uebrigens blieb alles unverändert.

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>
618,0	616,0	2,0
618,1	615,9	2,2
618,0	615,9	2,1
		<hr/> Mittel 2,1.

Der Ausschlag, dessen Richtung der früheren entgegengesetzt war, gab zu erkennen, daß der Stromtheil, der von *e* nach *d* ging, also dieselbe Richtung, wie der Wasserstrom hatte, der stärkere war.

Der positive Pol wurde mit der mittleren Polscheibe verbunden. Der Wasserstrom ging fortwährend von *b* nach *a*.

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>
617,0	615,8	1,2
617,5	615,0	2,5
617,2	614,9	2,3
		<hr/> Mittel 2,0.

Der Ausschlag hatte nun dieselbe Richtung wie im nächst vorhergehenden Versuche. Daraus folgt, daß der Stromtheil, der von *d* nach *c* ging, also dieselbe Richtung wie der Wasserstrom hatte, die größte Wirkung ausübte.

Das Glasrohr wurde nun umgekehrt, so daß der Wasserstrom wieder von *a* nach *b* ging. Uebrigens blieb alles unverändert.

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>
617,0	619,2	2,2
617,8	620,4	2,6
618,0	621,0	3,0
		<hr/> Mittel 2,6.

Folglich zeigte es sich auch jetzt, daß derjenige der beiden Stromtheile, der dieselbe Richtung wie der Wasserstrom hatte, stärker als der andere war.

Versuchsreihe 2. Diese war der vorhergehenden gleich, doch mit dem Unterschiede, daß die Goldscheiben in den Seitenröhren nicht so weit zurückgezogen waren, sondern

nahe an der inneren Wand des Glasrohres ihren Platz hatten. Sie waren deswegen der mechanischen Wirkung des Wasserstroms mehr als früher ausgesetzt.

Der positive Pol des Elektromotors war mit der mittleren Goldscheibe verbunden.

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>
628,8	631,8	3,0
628,8	632,0	3,2
		<u>Mittel 3,1.</u>

Die Richtung des Ausschlages zeigte, daß derjenige Stromtheil, der in derselben Richtung wie der Wasserstrom ging, eine größere Stärke als der andere besaß.

Danach wurde das Glasrohr umgewandt, so daß der Wasserstrom dasselbe in entgegengesetzter Richtung durchging. Alles Uebrige blieb unverändert.

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>
628,9	626,0	2,9
628,7	625,9	2,8
628,9	625,2	3,7
		<u>Mittel 3,1.</u>

Der negative Pol wurde mit der mittleren Goldscheibe verbunden. Uebrigens alles unverändert.

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>
631,3	629,0	2,3
631,5	629,0	2,5
631,5	629,0	2,5
		<u>Mittel 2,4.</u>

Das Glasrohr umgekehrt, die übrigen Anordnungen unverändert.

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>
632,0	634,0	2,0
631,9	634,0	2,1
631,9	634,2	2,3
		<u>Mittel 2,1.</u>

Diese Versuchsreihe giebt folglich dasselbe Resultat wie die erste, nämlich daß der galvanische Leitungswiderstand verringert wird, wenn der Leiter sich in derselben

Richtung wie der galvanische Strom bewegt, dagegen sich vergrößert, wenn beide in entgegengesetzter Richtung gehen.

Bei allen diesen Versuchen war die Geschwindigkeit des destillirten Wasser zwischen 9 und 10,5 Meter in der Secunde.

Versuch mit Alkohol, 24 Volumprocente Wasser enthaltend.

Mit dieser Flüssigkeit wurden die Versuche auf dieselbe Weise wie mit dem destillirten Wasser angestellt; sie führten zu demselben Resultate. Es dürfte deswegen überflüssig seyn, dieselben hier anzuführen.

Versuch mit Wasser aus der Wasserleitung der Stadt.

Bei angestelltem Versuche zeigte es sich, daß der Leitungswiderstand des destillirten Wassers ungefähr 50mal größer als der des Wasserleitungswassers war. Ein Glasrohr von derselben Beschaffenheit wie das vorher beschriebene wurde auf das Wasserleitungsrohr geschraubt, so daß dasselbe eine senkrechte Lage erhielt. Die Verbindungen zwischen den in den Seitenröhren eingesetzten Goldscheiben, dem Elektromotor und dem Magnetometer waren auf dieselbe Art wie bei den vorigen Versuchen angeordnet. Der einzige Unterschied bei den Beobachtungen bestand darin, daß, weil der Vorrath an Flüssigkeit hier unbegrenzt war, die constanten Ausschläge, und nicht, wie bei den früheren Versuchen, der Scalentheil, bei welchem die Magnetnadel zurückzukehren anfang, beobachtet wurden. Durch besondere Versuche, bei welchen kein Elektromotor zwischen der mittleren Goldscheibe und den Klemmschrauben *g* und *h* eingeschaltet war, überzeugte ich mich davon, daß kein galvanischer Strom allein durch das Ausfließen des Wassers entstand. Eine fremde Ursache eines galvanischen Stromes, der einen Ausschlag der Magnetnadel bewirken konnte, war also nicht vorhanden.

Da das Wasser der Wasserleitung im Vergleich mit dem destillirten ein guter Leiter war, so war es zu erwarten, daß die Polarisirung der Polscheiben hier einen größeren Einfluß als bei den vorhergehenden Versuchen ausüben würde. Dieses geht deutlich aus der Gleichung (9) hervor. Damit die Polarisirung auf die Richtung der Ausschläge nicht einwirken möchte, mußten deswegen die Versuche mit gehöriger Vorsicht angestellt werden. Vor jedem Versuche mußte die Kette eine längere Zeit geschlossen stehen, damit die Polplatten sich vollständig polarisiren konnten. Während dieser Zeit wurde der Hahn der Wasserleitung mehrmals geöffnet und geschlossen. Erst nachdem dieses geschehen war, konnte man darauf rechnen, constante und regelmässige Ausschläge zu erhalten. Uebrigens muß bemerkt werden, daß der angewandte galvanische Strom nicht zu stark seyn darf, weil die schädliche Wirkung, die von der Verschiedenheit der Polscheiben in galvanischer Hinsicht herrührt, mit der Stromstärke zunimmt. Bei den folgenden Versuchen wurden zwei Daniell'sche Elemente angewandt. Von den auf diese Weise angestellten Beobachtungen ist es hinreichend, folgende zwei Reihen mitzutheilen. *A*, *B* und *D* haben dieselbe Bedeutung wie vorher.

Versuchsreihe 3. Hierbei wurde ein anderes Glasrohr angewandt; der Abstand der Polscheiben von einander und die Weite des Rohres waren jedoch ungefähr dieselben wie bei dem ersten Rohr. Die Geschwindigkeit des Wassers, wenn der Hahn vollständig geöffnet war, machte ungefähr 10 Meter in der Secunde aus. Bei Berechnung der GröÙe der Ausschläge wurde aus zwei auf einander folgenden Gleichgewichtslagen beim stillstehenden Wasser das Mittel genommen.

Der negative Pol des Elektromotors war mit der mittleren Polscheibe verbunden.

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>
608,0	611,0	2,6
608,8	611,2	2,3
609,0	610,2	1,2
609,0	610,5	1,5
609,0	611,0	2,0
609,9		<u>Mittel 1,92.</u>

Der positive Pol wurde mit der mittleren Polscheibe verbunden. Alles Uebrige blieb unverändert.

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>
626,5	628,8	2,3
626,5	627,5	1,7
625,0	628,5	3,0
626,0	627,5	1,7
625,5	627,2	1,2
626,4		<u>Mittel 1,98.</u>

Die Richtung der Ausschläge gab in beiden Fällen zu erkennen, daß der Leitungswiderstand verringert wird, wenn der galvanische Strom und der Wasserstrom in derselben Richtung gehen.

Darnach wurde das Glasrohr umgekehrt, so daß der Wasserstrom in das andere Ende des Glasrohrs eintrat. Uebrigens Alles unverändert.

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>
627,3	624,9	2,3
627,0	624,0	3,0
627,0	624,4	2,6
627,0	624,0	2,8
626,5	624,0	2,6
620,7		<u>Mittel 2,66.</u>

Der negative Pol wurde mit der mittleren Polscheibe verbunden.

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>
606,4	605,0	1,6
606,8	603,0	3,9
607,0	605,4	1,9
607,5	605,4	1,9
607,0	604,8	2,2
607,0		<u>Mittel 2,30.</u>

Die Ausschläge waren in den beiden letzten Fällen kleiner, wie es seyn mußte, da das Glasrohr umgekehrt worden war.

Versuchsreihe 4. Die Goldscheiben wurden so weit in den Seitenröhren zurückgezogen, daß der Abstand von der inneren Wand des Glasrohres 8 Millimeter betrug. Sie wurden dadurch der mechanischen Wirkung des Wasserstroms weniger ausgesetzt.

Der negative Pol war mit der mittleren Goldscheibe verbunden.

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>
626,0	623,0	2,0
624,0	622,6	2,4
626,0	622,8	2,7
625,0	622,5	2,0
624,0	622,5	1,5
624,0		<u>Mittel 2,12.</u>

Das Glasrohr wurde umgekehrt, so daß der Wasserstrom in das andere Ende des Rohres eintrat. Uebrigens Alles unverändert.

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>
625,5	629,0	4,0
624,5	629,0	4,7
624,0	629,0	4,7
624,5	628,5	4,0
624,5	629,0	4,7
624,0		<u>Mittel 4,42.</u>

Der positive Pol wurde mit der mittleren Goldscheibe verbunden. Uebrigens Alles unverändert.

A	B	D
615,0	617,0	1,6
615,8	616,2	0,8
615,0	616,2	1,2
615,0	616,0	1,0
615,0		Mittel 1,15.

Darnach wurde das Glasrohr wieder umgekehrt; übrigen Alles unverändert. Die folgenden Beobachtungen wurden einen Tag später als die vorhergehenden angestellt.

A	B	D
612,4	610,5	2,2
613,0	610,0	3,0
613,0	610,0	3,0
613,0	610,0	2,5
612,0	610,0	2,2
612,4		Mittel 2,58.

Die Richtung der Ausschläge in dieser Versuchsreihe ist der in den vorhergehenden vollkommen gleich, und giebt also zu erkennen, daß der Leitungswiderstand sich vermindert, wenn der Leiter sich in derselben Richtung wie der galvanische Strom bewegt.

Bei den nun mitgetheilten Versuchen ist ausschließlich die *Richtung* der Ausschläge von Bedeutung; dagegen darf man nicht ihrer absoluten Gröfse zu viel Gewicht beimessen. Die Gröfse der Ausschläge ist nämlich durch die Polarisirung zum Theil verändert worden. Nachdem die Flüssigkeit in Bewegung versetzt worden ist, sind die zwei Theile, worin der galvanische Strom getheilt wird, nicht mehr gleich groß. Derjenige dieser Stromtheile, der in derselben Richtung wie die Flüssigkeit geht, ist größer geworden, während daß der andere um gleich viel abgenommen hat. Durch die Polscheiben in den zwei äußeren Seitenröhren gehen also Ströme, die eine verschiedene Stärke haben. Weil die Polarisirung, wenn so schwache Ströme, wie die bei diesen Versuchen benutzten, in Frage sind, mit der Stromstärke wächst, so muß also der stärkere Stromtheil durch die Polarisirung etwas mehr als der

andere geschwächt werden. Da nun die Ausschläge dem Unterschiede der beiden Stromstärken proportional sind, so müssen sie kleiner ausfallen als wenn keine Polarisation stattfände. Die Polarisation auf der mittleren Polscheibe hat dagegen, wie schon bemerkt wurde, keinen Einfluß auf die relative GröÙe der beiden Stromtheile. Man kann also kein zuverlässiges Maafß der Veränderung, die in dem Widerstande der Flüssigkeit durch die Bewegung entsteht, aus den angestellten Versuchen erhalten. Diese zeigen nur an, daß eine solche Veränderung wirklich stattfindet, und daß dieselbe unter die Gränze, die aus den erhaltenen Ausschlägen berechnet werden kann, nicht gehen könne.

Wie schon angegeben wurde, bekommt man keine Ausschläge, wenn nicht ein Elektromotor zwischen der mittleren Goldscheibe und den Klemmschrauben g und h eingeschaltet ist. Die erhaltenen Ausschläge leiten also ihren Ursprung nicht von irgend einer Art von Diaphragmenströmen oder von einer anderen fremden Ursache her. Folgende Beobachtung, auf welche ich die Aufmerksamkeit derjenigen Personen, die meine Versuche zu controliren wünschen, lenken will, steht damit nicht im Widerspruche. Wenn man, sobald eine Versuchsreihe abgeschlossen ist, den Elektromotor wegnimmt, und statt dessen mittelst eines einfachen Leitungsdrabtes die mittlere Polscheibe mit den Klemmschrauben g und h unmittelbar verbindet, und darauf die Flüssigkeit in Bewegung setzt, so erhält man einen Ausschlag und dieser geht in derselben Richtung wie der Ausschlag, den man kurz vorher erhielt, während der Elektromotor noch eingeschaltet war. Wird nun das Glasrohr umgekehrt, so erhält man ganz richtig einen Ausschlag in entgegengesetzter Richtung. Es ist leicht einzusehen, wovon diese Ausschläge herrühren. Als der Elektromotor eingeschaltet war, wurden die Polscheiben in den Seitenröhren polarisirt, und die beiden äußeren erhielten dabei einen Ueberzug von derselben Gasart. Da die Polarisation nur allmählig verschwindet, ging deswegen

gleich nach der Wegnahme des Elektromotors ein Polarisationsstrom durch jede Hälfte der Wassersäule, der Strom in der einen Hälfte war aber dem in der anderen entgegengesetzt, auf dieselbe Weise als da der Elektromotor eingeschaltet war. Wenn nun die Flüssigkeit in Bewegung kam, wurde der Leitungswiderstand in der einen Hälfte größer und in der anderen geringer als vorher; die zwei Ströme erhielten dadurch eine ungleiche Stärke und in Folge dessen mußte die Magnetnadel einen Ausschlag machen.

4.

Das Resultat oben stehender Versuche habe ich durch eine Untersuchungsmethode, die in jeder Beziehung von der eben beschriebenen verschieden war, zu controliren versucht. Diese Methode war folgende:

Kohlrausch und Nippoldt haben gezeigt, daß alternirende Inductionsströme, die in hinreichend kurzer Zeit auf einander folgen, mit Vortheil angewandt werden können, um den Leitungswiderstand der Flüssigkeiten unabhängig von der Polarisation zu machen¹⁾. Wenn die elektrolytische Flüssigkeit aus Wasser besteht, so kann während der kurzen Dauer des Inductionsstromes nur ein sehr dünner Ueberzug von Sauerstoff auf der einen Polscheibe und von Wasserstoff auf der anderen sich bilden, und im nächsten Augenblicke wechseln die Ströme ihre Richtung, so daß die Polscheibe, die eben vorher Wasserstoff erhielt, nun Sauerstoff bekommt und umgekehrt. Wenn die Ströme von gleicher Stärke und von kurzer Dauer sind und überdies dicht auf einander folgen, so ist es leicht einzusehen, daß die Polarisation dadurch auf ein Minimum reducirt werden muß. Die Untersuchungen der genannten Forscher zeigten auch in der That, daß die Polarisation auf die Genauigkeit der Widerstandsmessungen ohne merkbaren Einfluß war.

1) Pogg. Ann. Bd. 138, S. 280.

Wir denken uns nun, daß die Polscheiben in den beiden äußeren Seitenröhren *c* und *e* (Fig. 1, Taf. I) mit den Umwindungen des Magnetometers auf die Weise verbunden sind, daß ein galvanischer Strom alle Umwindungen in derselben Richtung durchgehe. Das mittlere Seitenrohr ist geschlossen und die in diesem Rohr befindliche Goldscheibe thut bei diesen Versuchen keinen Dienst. Wenn nun ein Elektromotor, der alternirende Ströme von gleicher Größe und kurzer Dauer aussendet, zwischen *c* und *f* eingeschaltet wird, so muß offenbar die Magnetnadel, wenn das Wasser des Glasrohres sich in Ruhe befindet, in ihrer Gleichgewichtslage verbleiben, weil die Wirkungen der Ströme sich gegenseitig aufheben. Wenn dagegen das Wasser in Bewegung kommt, so wird, weil die Widerstände durch die Bewegungen des Wassers verändert werden, derjenige Strom, der dieselbe Richtung wie der Wasserstrom hat, vergrößert, der andere aber vermindert, und die Magnetnadel muß deswegen einen Ausschlag machen.

Bei den angestellten Versuchen wurden nicht, wie bei der Untersuchung von Kohlrausch und Nippoldt, Inductionsströme, sondern eine Anordnung von folgender Beschaffenheit angewandt. Eine kreisrunde Scheibe von Buxbaumholz, deren Durchmesser 75 und Dicke 20 Millimeter beträgt, ist auf beiden Seiten mit einer Messingscheibe bekleidet. Mit Hülfe einer Kurbel und eines Kammrades kann die Scheibe um ihre Axe gedreht werden. Die Scheibe macht fünf Umdrehungen, während daß die Kurbel mit der Hand einmal herumgeführt wird. Die Fig. 2, Taf. I stellt einen Theil des Umkreises der Scheibe vor. Von den beiden Messingscheiben *A* und *B* gehen kleine Messingplatten *a*, *b*, *c*, *d* und *e* aus, welche alle vollkommen gleiche Breite haben und in gleichem Abstände von einander liegen. Sie sind in das Holz eingelassen, so daß ihre Oberfläche mit dem Umkreise der Scheibe zusammenfällt. Jede zweite dieser Messingplatten

steht mit der Messingscheibe *A* und jede zweite mit *B* in Verbindung. Die Anzahl dieser Platten ist 24, von welchen also 12 mit *A* und die übrigen 12 mit *B* leitend verbunden sind. Der Abstand der Platten von einander ist der Breite derselben gleich. Durch eine passende Anordnung wurde die Messingscheibe *A* mit dem einen und *B* mit dem anderen Pole eines Elektromotors verbunden. Auf den Umkreis der Buxbaumscheibe schleifen zwei mit Stahl beschlagene, von einander isolirte Messingfedern auf die Weise, daß sie gleichzeitig zwei benachbarte Messingplatten berühren. Zu gleicher Zeit berührt also die eine die Platte *a* und die andere die Platte *b*. Die eine der genannten Messingfedern war mit der Polscheibe in dem oberen Seitenrohre *c* (Fig. 1, Taf. I) verbunden; von der Polscheibe in dem unteren Seitenrohre *e* ging ein Leitungsdraht zu dem einen Ende der Umwindungen des Magnetometers, von dem anderen Ende derselben Umwindungen ging endlich ein Leitungsdraht zu der anderen Messingfeder. Es leuchtet hieraus ein, daß während des Umdrehens der Kurbel die Richtung der Ströme nicht nur in dem Glasrohre, sondern auch in den Umwindungen des Magnetometers unaufhörlich wechselte. Gewöhnlich wurde die Kurbel ein Mal in der Secunde umgedreht. Die Ströme wechselten also die Richtung 120 Mal in derselben Zeit.

Um zu untersuchen, ob man mit dem eben beschriebenen Umschalter die Messungen ganz unabhängig von der Polarisation ausführen könnte, wurde auf folgende Weise verfahren: Ein parallelepipedischer Kasten von Holz, dessen Wände auf der Innenseite asphaltirt waren, wurde mit Wasser aus der Wasserleitung gefüllt. Zwei Goldplatten, welche so groß waren, daß sie den Querschnitt des Kastens ausfüllten, wurden in einen Abstand von 50 Ctm. von einander gestellt. Nun ließ man einen constanten galvanischen Strom durch das Wasser gehen und nachdem die Goldplatten vollständig polarisirt waren, wurde die Stromstärke gemessen. Darnach wurden die Gold-

platten in einen Abstand von 25 Centimeter gestellt und soviel Rheostatendraht in die Leitung eingeschaltet, daß die Stromstärke dieselbe blieb wie vorher. Der Widerstand in der 25 Centimeter langen Wassersäule war dann dem des angewandten Rheostatendrahtes gleich. Nun wurde versucht, ob man mit Hülfe der alternirenden Ströme des Umschalters denselben Werth des Widerstandes der Wassersäule erhielt. Die Drahtleitungen, durch welche der Elektromotor, der Magnetometer, der Umschalter und respective die Wassersäule oder der Rheostat mit einander verbunden wurden, waren dabei so angeordnet, daß alle Ströme die Umwindungen des Magnetometers in derselben Richtung durchflossen, dagegen ihre Richtung in der Wassersäule oder dem Rheostate unaufhörlich wechselten. Um diesen Zweck zu erreichen, wurde der eine Pol des Elektromotors mit der Messingscheibe *A* oder *B* verbunden, und der andere Pol wurde mit dem einen Ende der Umwindungen des Magnetometers vereinigt. Das andere Ende des Magnetometerdrahtes wurde mit der anderen Messingscheibe *B* oder *A* in Verbindung gebracht. Schließlich wurden die beiden messingenen Schleiffedern entweder mit den beiden Goldscheiben oder mit den Enden des Rheostatendrahtes vereinigt.

Wenn der Rheostat in die Leitung eingeschlossen war, wurde mit Anwendung des Umschalters ein constanter Ausschlag von 135,0 Scalentheilen erhalten.

Wenn die Wassersäule eingeschaltet war, wurde der Ausschlag 136,5 Scalentheile.

Der Versuch mit dem Rheostat wiederholt gab 138,0 Scalentheile.

Das Mittel aus dem ersten und dritten Versuche giebt 136,5 Scalentheile, also dieselbe Zahl wie mit der Wassersäule.

Bei einer anderen Vergleichung, bei welcher die Umdrehung mit einer anderen Geschwindigkeit geschah, erhielt man mit der Wassersäule einen Ausschlag von 125,5, und mit dem Rheostat einen solchen von 125,0 Scal-

theilen. Man ersieht also hieraus, daß die Polarisation durch den Umschalter so vollständig weggeschafft wurde, daß die möglich zurückbleibende Wirkung derselben innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler fiel.

Die Goldplatten, die bei diesen letzten Versuchen benutzt wurden, waren vielfach größer als diejenigen kleinen Goldscheiben, die in die Seitenröhren des Glasrohres eingesetzt waren; die angewandte Stromstärke aber war auch vielfach, und zwar beinahe in demselben Verhältniß, größer als diejenige Stromstärke, die bei den früheren Versuchen zur Anwendung kam. Die Polarisation auf der Flächeneinheit der Polplatte konnte also in den beiden Fällen nicht sehr verschieden seyn. Der nun mitgetheilte Beweis, daß die alternirenden Ströme die Polarisation unschädlich machen, muß also auch für die Versuche mit den kleinen Goldscheiben seine Gültigkeit behalten. Uebrigens ist es von selbst klar, daß es für die Brauchbarkeit der dargestellten Beobachtungsmethode ganz gleichgültig ist, ob die ganze Polarisation weggeschafft wird oder nicht. Das Einzige, was erfordert wird, ist: daß die beiden Polplatten sich hinsichtlich der Polarisation in demselben Zustande befinden, und diese Forderung ist jedenfalls vollständig erfüllt.

Wenn das Wasser des Glasrohres in Ruhe war und die Kurbel des Umschalters mit constanter Geschwindigkeit umgedreht wurde, blieb die Magnethadel unbewegt. Wurde darnach das Wasser in Bewegung gesetzt, erhielt man immer einen Ausschlag, der zu erkennen gab, daß derjenige der zwei alternirenden Ströme, der in derselben Richtung wie der Wasserstrom ging, stärker als der andere war. Diese Versuche wurden sowohl mit Wasser aus der Wasserleitung als mit destillirtem Wasser angestellt. Die Ausschläge wurden jedoch viel kleiner als die nach der ersten Methode erhaltenen. Daß dies der Fall seyn würde, war leicht vorauszusehen. Da die Abstände zwischen den in die Buxbaumscheibe eingelassenen Messungsplatten gleich groß mit der Breite dieser Platten sind,

so war der Strom nur die Hälfte der Zeit, während welcher die Kurbel bewegt wurde, geschlossen. Die Ströme, die in derselben Richtung gingen, dauerten also nicht länger als ein Viertel dieser Zeit. Uebrigens muß bemerkt werden, daß, weil die alternirenden Ströme wegen der Strömung des Wassers eine verschiedene Stärke erhalten, die Polarisirung nicht ganz aufgehoben, sondern der stärkere Strom durch dieselbe etwas geschwächt wird. Diese Umstände müssen eine Verminderung des Ausschlages verursachen. Dessen ungeachtet waren die erhaltenen Ausschläge vollkommen deutlich und regelmäfsig. Um gröfsere Ausschläge zu erhalten, wurde ein gewöhnliches, von Rühmkorff verfertigtes, Galvanometer, dessen Nadelsystem sehr astatisch war, mit Spiegelablesung versehen. Auf diese Weise wurde ein Instrument, das empfindlicher als der Magnetometer war, erhalten; aber dieses war zugleich mit dem Uebelstande behaftet, daß die Gleichgewichtslage der Magnetnadel von den Variationen in der Lage des erdmagnetischen Declinationsplanums abhängig war. Die Ausschläge wurden nun bedeutend gröfsere und stimmten übrigen mit denen mit dem Magnetometer erhaltenen vollkommen überein.

Die zwei von einander unabhängigen Untersuchungsmethoden haben also zu demselben, von der Theorie vorausgesagten Resultate geführt, *nämlich daß der galvanische Leitungswiderstand sich vermindert, wenn der Leiter und der Strom sich in derselben Richtung bewegen, dagegen aber vergrößert wird, wenn die Richtungen entgegengesetzt sind.*

Schließlich will ich noch erwähnen, daß ich auch versucht habe, eine gesättigte Kupfervitriollösung mit Kupferpolen und eine Zinkvitriollösung mit amalgamirten Zinkpolen für diese Untersuchung anzuwenden. Diese Flüssigkeiten waren aber ganz unanwendbar, weil es mir nie gelang die Polplatten in galvanischer Hinsicht so gleich zu machen, daß nicht beim Eintauchen der Polplatten in die Flüssigkeit ein kleiner Strom entstand, der sich sogleich

veränderte, sobald die Flüssigkeit in Bewegung kam. Wovon dieses herrührte, weiß ich nicht zu sagen. Es ist zu bemerken, daß die Zinkvitriollösung ziemlich eisenhaltig war.

V. *Experimentelle Untersuchung über Elektromaschinen mit Ebonitscheiben;* *von Dr. L. Bleekrode.*

Schon seit mehr als einem Jahre habe ich mich mit der Anordnung einer Influenzmaschine nach dem Holtz'schen Princip beschäftigt, bei welcher als Material für die Scheiben Horngummi oder Ebonit statt Glas benutzt ist. Diese Construction hat mir viele Vortheile und manche interessante Thatsache gewährt, die ich hier veröffentlichen will. Die Holtz'sche Influenzmaschine ist aber schon in so vielfacher Weise abgeändert worden, daß es nicht ohne Interesse scheinen dürfte, hier eine kürzere Uebersicht ihrer Transformationen zu geben, wobei ich noch bemerke, daß ich mich der Poggendorff'schen Benennung „Elektromaschine“ bedienen werde.

§. I. Geschichtliches.

Es werden jetzt zehn Jahre seyn, seit die Holtz'sche Maschine als physikalischer Apparat bekannt wurde; sie wurde nämlich im April 1865 der Berliner Akademie vorgezeigt und bald darauf in diesen Annalen von dem Verfasser beschrieben.

Zwei Glasscheiben, eine feste und eine bewegliche, waren dicht neben einander aufgestellt, und letztere um eine horizontale Axe drehbar. Die feste Scheibe hatte zwei Ausschnitte und daneben Papierbelege, welche mit

4.