

einmal (Sitzungsber. 1873: „Ueber das Kundt'sche Manometer“) bemerkt habe.

Wie man aus dem Vorhergehenden ersieht, treten bei den Luftschwingungen in Kundt'schen Röhren sehr merkwürdige elektrische und thermische Wirkungen auf. Außerdem sind wahrscheinlich die Excursionen der Luft so groß, daß vielleicht die gewöhnlichen akustischen Gesetze hier keine Geltung haben; es scheint demnach die Entstehungsweise der hier vorgeführten Staubfiguren eine ziemlich complicirte zu seyn. Dazu kommt noch, daß die Erscheinungen sehr variabel sind und es bedarf sowohl einiger Sorgfalt in der Ausführung des verwendeten Apparates als auch einer gewissen Uebung im Streichen, um einige der hier dargestellten Formen ganz rein zu erhalten.

Die Versuche wurden im physikalischen Laboratorium der Prager Universität ausgeführt.

XI. *Einige Beobachtungen über das Verhalten von Eisen- und Stahlstäben im galvanischen Strome; von Hermann Herwig.*

§. 1.

Für die Verhältnisse des galvanischen Leitungswiderstandes schien es mir von Interesse zu seyn, solche Metalle näher zu untersuchen, bei denen unabhängig von dem galvanischen Strom bereits eine gewisse elektrische Bewegung existirt. Das ist nach Ampère's Theorie bei magnetischen Substanzen der Fall, deren Theilchen von beharrlichen elektrischen Strömen umflossen werden sollen. Man hat nun schon wiederholt den Einfluß untersucht, welchen die Magnetisirung eines Eisenstabes durch einen herumgeführten Strom auf die Leitungsfähigkeit desselben

für durchgehende Ströme ausübt, und ist ein solcher durch Hrn. Beetz ¹⁾ nunmehr wohl definitiv festgestellt. Auf diese Versuche komme ich weiter unten zurück.

Dem gegenüber sollten die hier zu besprechenden Versuche Aufklärung darüber geben, ob nicht der durchgehende Strom selbst bereits eine Abänderung der Leitungsfähigkeit zur Folge hat. Hr. Villari ²⁾, welcher die Verhältnisse der Wärmewirkung der durchgehenden Ströme beim Eisen untersucht hat, giebt dabei an, keine Veränderung der Leitungsfähigkeit gefunden zu haben. Indessen scheinen seine nur kurz erwähnten Versuche wohl nicht bis zu der hier erreichbaren Genauigkeit gelangt zu seyn, denn er bezeichnet eine Widerstandsänderung von $\frac{1}{3000}$ als eine »*differenza inapprezzabile al certo nella loro spiegazione*« ³⁾. Ich betrachtete die Frage deshalb, wenigstens bis zu einer gewissen Gränze, noch als eine offene.

Wenn man der Theorie Ampère's beipflichtet, so kann es keinem Zweifel unterliegen, daß die Molecularmagnete eines Eisenstabes von einem durchgehenden Strome in gewisser Weise gerichtet werden. Diese Richtung erstreckt sich auf alle Molecularmagnete mit Ausnahme derjenigen, welche in der Axe des Stabes liegen, und kommt für die einzelnen Molecularmagnete um so mehr zur Geltung, je mehr dieselben unsymmetrisch an ihnen vorbeifließenden Stromfäden gegenüberstehen, d. h. je näher sie dem Umfang des Stabes liegen. Der Sinn der Richtung ferner ist der, daß, wenn dieselbe ganz durchgeführt gedacht wird, die Axen der Molecularmagnete sämmtlich in einer zur Stromesrichtung senkrechten Ebene ringförmig angeordnet liegen, so daß der Südpol eines Molecüls an den Nordpol des folgenden gränzt usw. Sieht man dem Laufe des positiven Stromes nachgehend auf eine solche Ebene, so folgen in jedem Molecularmagnete

1) Diese Ann. Bd. 128, S. 202.

2) *Il nuovo Cimento ser. 2, t. I, p. 24.*

3) *l. c. pag. 32.*

der Nordpol auf den Südpol im Sinne eines gehenden Uhrzeigers.

Es liegen nun bekanntlich mannichfaltige Beobachtungen vor, die man mit Recht als Beweise für eine Richtung der Molecularmagnete durch einen durchgehenden Strom angesehen hat. Das gilt vor Allem von den Experimenten des Hrn. Villari¹⁾, wonach ein Eisen- oder Stahlstab, durch welchen zuvor ein starker Strom ging, nach Unterbrechung desselben mit einem Galvanometer verbunden einen Inductionsstrom (von Hrn. Villari mechanischer oder Erschütterungsstrom genannt) zu erkennen gab, wenn er stark geschlagen wurde. Ferner gehören dahin die Versuche des Hrn. Wiedemann²⁾ über die beim Tordiren von Eisenstäben gewonnenen Inductionsströme, wenn durch die Stäbe zuvor ein Strom geleitet war.

Auf diese und ähnliche Resultate gestützt, setzte ich die oben angegebene Richtung der Molecularmagnete (die sogenannte transversale Magnetisirung) durch axiale Ströme voraus und suchte zunächst nur ihren Einfluß auf den Leitungswiderstand der axialen Ströme zu ermitteln. Dabei ergaben sich mir aber bald in einer Weise, die für das Nachfolgende sehr lehrreich ist, Erscheinungen von Extracurrents am Eisen und Stahl zu erkennen, welche ich deshalb vorweg besprechen will und welche als directe Bestätigung für die Richtung der Molecularmagnete angesehen werden dürfen. Zwar hat schon Hr. Villari³⁾, durch seine vorhin citirten Erfahrungen aufmerksam gemacht, die günstigen Eigenschaften des Eisens für Inductionsströme überhaupt und damit auch für Extracurrents beobachtet. Aber gerade den mehr beiläufig gemachten Versuchen mit den Extracurrents fehlt diejenige Einfachheit in der Formulirung und zugleich diejenige Vollständigkeit, welche für den Zweck der gegenwärtigen

1) Diese Ann. Bd. 126, S. 120 und Bd. 137, S. 569.

2) Diese Ann. Bd. 129, S. 616.

3) *Il nuovo Cimento* ser. 2, t. I, pag. 217 und besonders pag. 239.

Untersuchung durchaus wünschenswerth ist. Ich kann deshalb nicht umhin, meine eigenen Versuche kurz anzuführen.

Für den Zweck der Widerstandsuntersuchungen hatte ich von der Kirchhoff-Wheatstone'schen Drahtverbindung Gebrauch gemacht mit der kleinen Abänderung der Combination, welche Svanberg¹⁾ Wheatstone gegenüber getroffen hat. Um von Temperatureinflüssen nicht zu sehr gestört zu werden, waren die sämmtlichen an der Brücke vorkommenden Drähte sehr dick gewählt. Der Theil der Brücke, welcher zur Abgleichung des Widerstandsverhältnisses zwischen Eisenstab und Normaldraht dienen sollte, bestand aus Kupferdraht von mehr als 2^{mm} Durchmesser, dessen Gesamtlänge je nach dem Widerstande der Untersuchungsstäbe von 400 bis 900 Cm. variiert wurde, um jedesmal die Brücke auf hoher Empfindlichkeit zu halten. Eine Kupferklemme führte an einen Punkt dieses Drahtes die Zuleitung von dem einen Pol der Batterie. Der dem Eisen- oder Stahlstabe gegenüber stehende Normaldraht war meistens ein sehr dicker (bis zu 5,5^{mm}) Draht aus Kupfer oder Messing, bei dem sich also Temperaturerhöhungen durch die Ströme selbst nur im geringsten Maasse erwarten ließen. Alle Verbindungen waren mit massiven gut polirten Kupferklemmen sorgfältig ausgeführt. Für die Einschaltung der dicken Eisenstäbe hatte ich anfangs versucht, ob allenfalls mit Quecksilberbehältern, die sich an die ganz blanken Enden anschlossen, auszukommen seyn würde. Zwar hat Hr. Siemens²⁾ schon auf den eigenthümlichen Widerstand aufmerksam gemacht, der sich an den Berührungsflächen von Eisen und Quecksilber darbietet, und ferner hat Hr. Mousson³⁾ die Veränderlichkeit einer Verbindung, welche man durch Eintauchen trockener Drähte in Quecksilber erhält, hervorgehoben. Ich war deshalb gegen die Anwendung von

1) Diese Ann. Bd. 84, S. 411.

2) Diese Ann. Bd. 110, S. 11.

3) Vgl. Karsten's Encyclopädie XX, S. 686.

Quecksilber an Eisenflächen von vornherein mißtrauisch, würde jedoch einen Uebergangswiderstand, wenn er nur constant gewesen wäre, nicht sehr störend gefunden haben. Nun aber zeigte sich eine ganz überraschende Veränderlichkeit dieses Widerstandes, die sich allem Anscheine nach völlig regellos verhielt und eine ganze Zahl von Procenten des gesammten Widerstandes des Eisenstabes ausmachte. Dabei war durchaus keine Veränderung des Quecksilbers oder der Eisenflächen wahrzunehmen. Diese Art von Verbindung ist also völlig unbrauchbar und weiß ich nicht, ob schon anderweitig auf dieses Verhalten hingewiesen ist. Ich habe statt dessen dann mit weichem Lothe (also ohne energische Behandlung der Eisenstäbe, wodurch sie vielleicht in ihrer gleichmäßigen Beschaffenheit alterirt worden wären) dicke Kupferklemmen an die Enden gelöthet und so die nöthigen Verbindungen ermöglicht.

Das angewandte Galvanometer war ein von Hrn. Dr. Meyerstein in Göttingen verfertigtes feines Spiegelgalvanometer, von welchem Scale und Fernrohr 5 Meter entfernt angebracht waren. Auch die sämmtlichen Brückendrähte befanden sich 4 bis 6 Meter von dem Galvanometer entfernt und waren stets so gelegt; daß viel stärkere, als die wirklich gebrauchten Ströme durch die Brücke gehend dem nicht eingeschalteten Galvanometer keine Abweichung ertheilten. Die Batterie bestand für die eigentlichen Versuche meistens aus 1 Grove'schen Elemente mit doppelt so großem Querschnitt, als er sonst üblich ist. Der ganze Versuchsapparat war in einem großen Kellerraum des Laboratoriums angeordnet.

In dieser Art untersucht zeigte nun vor allem ein von Westen nach Osten gelegter 10^{mm} dicker und 170 Centim. langer Stab aus weichem Eisen, der einem 5,5^{mm} dicken, 350 Centim. langen Kupferstab in der Brücke gegenüberlag, folgende Erscheinung. Wenn bei anhaltend durchgehendem Strome die Widerstände der Brücke mittelst Verschiebung der von der Batterie kommenden Zuleitungs-

klemme so regulirt waren, daß im Galvanometer-Kreise kein Strom herrschte und man öffnete plötzlich die Zuleitung der Batterie, ohne sonst etwas zu ändern, so durchfloß ein lebhafter momentaner Strom das Galvanometer in dem Sinne, als wenn bei Fortwirkung der Batterie der Widerstand im Eisen plötzlich vermindert worden wäre. Beim Schlusse der Batterie zeigte sich ein genau ebenso starker umgekehrter Impuls. Beide Wirkungen waren von kurzer Dauer, indem die Schwingungen des Galvanometers sofort, wenigstens sehr nahezu, um die ursprüngliche und bleibende Ruhelage herum geschahen. Endlich bewirkte die Umkehr des Stromes mittelst eines vor der Batterie angebrachten Umschalters einen gleichfalls momentanen doppelt so starken Ausschlag im Sinne des eben angegebenen Oeffnungsausschlages.

Man hat es demnach hier mit Inductionsströmen im Eisen zu thun, die am füglichsten als Extracurrents bezeichnet werden. Dieselben sind beim Oeffnen des ursprünglichen Stromes diesem gleich, beim Schließsen dagegen entgegengesetzt gerichtet, im Falle der Umkehr des Stromes summiren sich Oeffnungsextracurrent der alten und Schließungsextracurrent der neuen Stromesrichtung in demselben Sinne. Wollte man voraussetzen, daß der (fast genau einen ebenso großen Widerstand repräsentirende) mehr als doppelt so lange Kupferstab gleichfalls zu einem wahrnehmbaren Extracurrent Veranlassung böte, so hätte man in den beobachteten Ausschlägen die Differentialwirkung der im Eisen und im Kupfer auftretenden Extracurrents. Das Eisen zeigt also eine besondere (bereits von Hrn. Villari erkannte) Eigenschaft in dieser Hinsicht, die zweifellos auf die stattfindenden Richtungen der Molecularmagnete zurückzuführen ist. Es möge daran erinnert werden, daß diese Extracurrents bei dem Arrangement einer in sich noch geschlossenen Wheatstone'sche Brücke nur zum kleinen Theil ihren Weg durch das Galvanometer nehmen und übrigens in den Brückendrähten selbst zur Ausgleichung kommen. Insofern wird im Allgemeinen die Benutzung

dieser etwas abweichenden Methode zum Studium der Extracurrents Nachtheile gegenüber der von Hrn. Edlund ¹⁾ angewandten darbieten, welcher statt der Wheatstone'schen Drahtverbindung sich der Verbindung an einem Differential-Galvanometer bediente ²⁾. Aber andererseits dient dieser Umstand im vorliegenden Falle dazu, die Intensität dieser Ströme zu veranschaulichen, wenn ich bemerke, daß die erreichten Ausschläge, trotz der Anwendung von nur einem Grove'schen Elemente für den ursprünglichen Strom, eine ganze Zahl von Centimetern an der Scala betrug.

Diese Erfahrung bietet noch einen praktisch nicht unwichtigen Gesichtspunkt dar. Bekanntlich sind die Extracurrents, sowohl beim Schlusse, wie bei der Oeffnung des Stromes, den Zwecken der Telegraphie jedesmal entgegen gerichtet und werden bei der Länge der hier in Frage kommenden Leitungen unangenehm genug empfunden. Unter diesen Umständen ist es gut daran zu denken, daß man in dem gewöhnlich zu den Leitungen verwandten Eisen gerade das ungünstigste Material für die Verwendung der Extracurrents getroffen hat. In den meisten Fällen wird dieser Gesichtspunkt nicht ausreichen, um die zahlreichen durchschlagenden Gründe für die Wahl des Eisens zu Telegraphenleitungen zu entkräften; aber es giebt doch auch Fälle, wo die Entscheidung für oder gegen das Eisen von manchem Practiker vielleicht anders gemacht werden würde, wenn er die Extracurrents berücksichtigte.

Ich habe nun diese Extracurrents an mehreren Eisen- sowohl wie Stahlstäben näher verfolgt und nachstehende Resultate erhalten. Zunächst zeigen ganz demselben Kupferstab in der Brücke gegenüber verschieden dicke Eisenstäbe ganz verschieden starke Extracurrents und zwar der dickere bedeutend stärkere. An dem eben erwähnten Eisenstab von 10^{mm} Durchmesser und 170 Centim. Länge und an

1) Diese Ann. Bd. 77, S. 161.

2) Zu einem speciellen Zwecke benutzte bereits Hr. Rijke (diese Ann. Bd. 102, S. 498) eine mit einem Dynamometer verbundene Wheatstone'sche Brücke für Bestimmungen an den Extracurrents.

einem von 6^{mm} Durchmesser und 160 Centim. Länge habe ich besonders mit Rücksicht hierauf eine sehr große Zahl von Messungen angestellt. Es ergab sich hierbei, daß die Extracurrents, welche während einer zusammenhängenden Beobachtungsreihe, etwa während eines Tages, sehr constant sich zeigten, im Laufe der Zeit eine geringe Zunahme ihrer Stärke aufwiesen. Danach scheint die Richtbarkeit oder Beweglichkeit der Theilchen überhaupt zu wachsen, was durchaus begreiflich ist. Die Zahlenvergleichenungen können demgemäß nicht ganz scharf ausfallen. Aber einen ungefähren Anhaltspunkt wird man an dem Mittel aller gewonnenen Zahlen haben. Danach würde der dickere Stab bei der Batterie-Umkehr, also in dem am deutlichsten hervortretenden Fall, einen momentanen Ausschlag geben, dessen Hälfte gleich einer Galvanometer-Ablenkung ist, welche bei constant fortwirkendem ursprünglichen Strome einer Verminderung des Eisenwiderstands um $\frac{1}{520}$ seines ganzen Betrages entsprechen würde. Für den dünneren Stab erhielt man in gleicher Art $\frac{1}{7200}$ des Betrages. Die Länge der Stäbe ist fast gleich, die Querschnitte dagegen verhalten sich wie 100 zu 36. Das Verhältniß der Extracurrents liegt demnach nahezu wie das Quadrat der Querschnitte. Wenn man die Eisenstäbe als aus vielen parallelen, gegen einander isolirten Stromfäden bestehend denkt, die alle mit gleicher Kraft beim Schluß und Öffnen des Stromes inducirend auf einander wirken, so scheint dieses Resultat selbstverständlich zu seyn, da alsdann mit jeder Vergrößerung des Querschnittes in das Potential des Stromes auf sich selbst neue Stromfäden sowohl als inducirende, wie als inducirte Elemente eintreten würden. Indessen möchte ich es doch für wünschenswerth halten, diesen Punkt an den Extracurrents überhaupt experimentell weiter zu verfolgen, und hoffe ich dazu nächstens Gelegenheit zu finden. Soviel mir bekannt ist, liegt nur ein Versuch Faraday's ¹⁾ über den Einfluß der Drahtdicke auf die Extracurrents vor. Bei demselben ergab ein aus meh-

1) Diese Ann. Bd. 35, S. 439.

ren an den Enden zusammengelötheten Drähten bestehendes Bündel einen stärkeren Extracurrent, wenn die Drähte näher zusammengebogen waren, und ein einziger dicker Stab von gleicher Länge, dessen Querschnitt der Summe der Querschnitte dieser Drähte gleichkam, zeigte einen noch stärkeren Extracurrent. Zahlen hat Faraday darüber nicht gegeben. Auch in den oben erwähnten Erschütterungsströmen, die Hr. Villari durch Schlagen der Eisenstäbe erhielt, wurden bei dünnen Drähten kaum Wirkungen erzielt, mit einem Telegraphendrahte (vermuthlich von etwa 4^{mm} Durchmesser) aber sehr starke, bei noch dickeren Drähten dagegen wieder abnehmende¹⁾. Uebrigens eignen sich diese Versuche natürlich viel weniger zu solchen Vergleichen unter einander.

Weiterhin habe ich nun an Stahlstäben immer erheblich schwächere Extracurrents gefunden, als an Eisenstäben. Ein 10^{mm} dicker, 150 Centim. langer Stahlstab ergab z. B. beim Stromesumkehren Extracurrents, deren Impulse im Mittel einer Veränderung des Gesamtwiderstandes um $\frac{1}{2000}$ entsprechen würde, also etwa die Hälfte von dem oben besprochenen Eisenstab gleicher Dicke. Aehnlich verhalten sich nach Hrn. Villari diese beiden Materialien auch gegenüber den Erschütterungsströmen. Die Molecüle im harten Stahl sind eben weniger beweglich, als im weichen Eisen. Diese gehemmte Beweglichkeit läßt überhaupt die Erscheinung bei verschiedenen Stahlstäben verschiedenartig auftreten. Es ergiebt sich z. B. nicht mehr, wie beim Eisen, stets ein langsames Fortschreiten der Beweglichkeit und damit der Stärke der Extracurrents; vielmehr zeigte ein dicker Stahlstab nahezu constante Extracurrents während sehr langen Gebrauchs, ein anderer weniger dicker dagegen verlor nach längerem Gebrauch die Beweglichkeit seiner Theilchen fast vollständig usw. Es sind deshalb hier noch weniger genaue Vergleichen anstellbar, als beim Eisen, nur allgemein läßt sich sagen, daß das Dünnerwerden der Stäbe in ähnlichem Maasse wie beim Eisen,

1) Diese Ann. Bd. 137, S. 574.

auch beim Stahl das Auftreten der Extracurrents abschwächt.

Weitere Zahlenangaben der vielen durchgeführten Versuche über die Extracurrents mitzutheilen, erscheint nach allem Gesagten nicht nöthig.

§. 2.

Das Verhalten der Extracurrents nun in Verbindung mit dem Auftreten der Erschütterungsströme war für die Erwartungen, die ich bei dem Haupttheil meiner Aufgabe hegte, maßgebend. Man darf aus dem Zusammenhalten beider Erscheinungen schließen, daß ein beträchtlicher Theil der molecularen Richtung durch einen axialen Strom sofort erfolgt, daß dieselbe aber dann noch weitere stetige Fortschritte in langsamem Maaße machen kann, wenn der Strom anhält. Der letztere Punkt ist dadurch begründet, daß ich die Schließungs- und Oeffnungs-Extracurrents in ihrer Galvanometerwirkung gleich gefunden habe, daß aber neben dem Oeffnungsextracurrent noch ein Erschütterungsstrom existirt. Von dieser Seite her kann man nun möglicherweise erwarten einen Einfluß auf den Leitungswiderstand wahrzunehmen. Nur liegt es in der Natur der Sache, daß derselbe wahrscheinlich erst durch sehr ausgedehnte Versuche festzustellen seyn wird. Ich habe im Ganzen viele hundert Bestimmungen der einen oder anderen Art an drei verschiedenen Eisenstäben und an drei verschiedenen Stahlstäben gemacht, und darf deshalb mit einiger Entschiedenheit die nachstehenden Resultate aussprechen:

1. Im Allgemeinen ist bei *fortgesetztem Stromesdurchgehen* ein *geringes continuirliches Wachsen des Widerstandes* in Eisen- und Stahlstäben zu beobachten und zwar in Eisenstäben ausgesprochener als in Stahlstäben. Werden nach längerem Stromesdurchgang die Stäbe dann wieder einer *langen Ruhe* überlassen (etwa über Nacht zwischen zwei auf einander folgenden Beobachtungstagen), so nähern sie sich wieder ihren ursprünglichen Verhältnissen. Beim Eisen scheint jedoch ein Theil des Widerstandswachsthums

definitiv zu bleiben, auch wenn die Stäbe mehrere Tage stromlos liegen bleiben. Es ist natürlich äusserst schwer, eine derartige Erscheinung rein darzustellen, ohne gleichzeitig die durch den Strom selbst hervorgerufenen Temperaturveränderungen wirksam für den Leitungswiderstand mit im Spiele zu haben. Ich habe in Berücksichtigung dieses Punktes einmal durchweg mit dicken Drähten in der ganzen Brücke und mit nicht starken Strömen operirt und dann den Normaldraht und den Eisen- oder Stahlstab von solchen Dimensionen gewählt, daß die geringen überhaupt noch auftretenden Temperaturwirkungen angenähert gleich für beide ausfallen mußten. Daneben habe ich aber auch in mehreren Versuchsreihen absichtlich den Normaldraht soviel weniger dick, wie die Eisenstäbe, gewählt, daß in ihm sich nothwendigerweise eine grössere Temperaturwirkung zeigen mußte. Eine solche trat dann auch gleich nach dem Stromeschluß deutlich ein, machte aber, wenn nach längerer Zeit die Verhältnisse in soweit constant geworden waren, dem langsamen Wachsthum des Eisenwiderstandes Platz. Auch im umgekehrten Sinne habe ich die beiden Vergleichsstäbe mehrmals ungleich für Temperaturwirkungen gewählt, um nicht durch eine vielleicht während der Versuche eintretende Batterieabschwächung getäuscht zu werden. Aber bei allen Versuchsanordnungen, bei Normaldrähten von Kupfer und Messing in der verschiedensten Dicke war im Allgemeinen stets nach Constantwerden der ganzen Stromesverhältnisse das langsame Wachsen des Eisenwiderstandes wahrzunehmen. Ich habe einigemale unausgesetzt während 12 Stunden den Strom durchgehen lassen und beobachtet. Alsdann schien schliesslich der Widerstand sich in der Nähe eines Maximalwerthes zu befinden und kaum mehr zu wachsen.

Genauere Zahlen hier anzugeben, ist nicht wohl möglich, ich kann nur ungefähr sagen, daß in einigen Fällen während einer zusammenhängenden Versuchsreihe eines Tages ein Wachsthum von mehr als $\frac{1}{1000}$ des ganzen Widerstandes einzutreten schien, daß aber in andern Fällen, na-

mentlich bei Stahlstäben, die Werthe ganz erheblich kleiner angenommen werden mußten.

Die Veränderungen, welche so am Widerstande des Eisens und des Stahles beobachtet werden können, sind natürlich, weil an einer Brücke gemessen, als Veränderungen gegenüber dem Normaldraht der Brücke, also gegenüber einem Kupfer- oder Messingdraht zu verstehen. Wollte man deshalb auch diese Normaldrähte selbst in ihren Widerständen veränderlich denken, so würden die Beobachtungen nur Differenzen ergeben haben. Es ist nun bekannt, daß bei längerer Anwendung starker Ströme auch Kupfer und Platin Widerstandsveränderungen erfahren und zwar zunächst gleichfalls Zunahmen desselben. Man vergleiche die Angaben der Hrn. Quintus Icilius¹⁾ und Schröder van der Kolk²⁾. Ob solche Aenderungen auch schon bei meinen Versuchen anzunehmen sind, bleibt fraglich. Keinenfalls dürften aber die besprochenen Veränderungen am Eisen und Stahl in die gleiche Kategorie zu stellen seyn, da sie wenigstens zu einem beträchtlichen Theile schon einige Stunden nach dem Aufhören des Stromes wieder rückgängig geworden sind. Es ist vielmehr diese Widerstandszunahme als durch die Richtung der Molecularmagnete bedingt anzusehen. Die Mehrwirkung beim Eisen gegenüber dem Stahl ist in Uebereinstimmung mit der gleichfalls größeren Stärke der Erschütterungsströme im Eisen. Es entscheidet sich demnach die hauptsächlich hier vorliegende Frage bereits dahin, daß diese Richtung der Molecularmagnete einen Zustand für das Eisen und den Stahl bedeutet, wobei beide Materialien die axialen Ströme schlechter leiten. Ehe ich die Bedeutung dieser Entscheidung näher bespreche, will ich zuvor noch zwei weitere, mit mehr Sicherheit zu beobachtende Erscheinungen anführen, welche aus derselben Ursache entspringen. Das ist zunächst

1) Diese Ann. Bd. 101, S. 86.

2) Diese Ann. Bd. 110, S. 465.

2. Der Einfluss einer plötzlich geänderten Intensität der axialen Ströme auf den Leitungswiderstand von Eisen und Stahl. Bei diesen Versuchen waren einmal an die Verschiebungsklemme der Brücke und dann zwischen dem Eisenstab und Normaldraht außer den Batteriezuleitungen noch die Enden zweier Drähte geführt, die mittelst Quecksilberbehälter und amalgamirter dicker Kupferkolben beliebig verbunden und getrennt werden konnten. Man hat für die Stromintensität i , welche bei Einschaltung dieses Zweiges durch das Galvanometer fließt, die folgende Formel. Es sey E die elektromotorische Kraft der Batterie, n der Widerstand des Normaldrahtes, f der Widerstand des Eisen- oder Stahlstabes, r_1 der Widerstand in der Brücke, welcher dem Normaldraht gegenübersteht, und r_2 der dem Eisen gegenüberstehende Widerstand, ferner r der Widerstand des Galvanometerzweiges, endlich R der Widerstand in der Batterie und Zuleitung und ρ der Widerstand des genannten Zweiges. Alsdann ist

$$\frac{i}{E} = \frac{nr_1 - fr_2}{R \left\{ r(r_1 + r_2 + n + f) + (r_1 + r_2)(n + f) \right\} + \left(1 + \frac{R}{\rho} \right) \left\{ r(r_1 + f)(r_2 + n) + r_1 r_2 (n + f) + nf(r_1 + r_2) \right\}}$$

Bei $\rho = \infty$ wird aus dieser Formel die gewöhnliche Formel der Wheatstone'schen Brücke.

Wenn man nun mit dieser Vorrichtung nach anhaltendem constanten Stromesdurchgehen plötzlich die Intensität desselben in allen Brückentheilen beträchtlich erhöht oder schwächt, so zeigen sich zunächst, wie zu erwarten stand, wieder Extracurrents in der früheren Weise. Des Weiteren aber wird im Allgemeinen eine bleibende Ablenkung des vorher durch genaues Compensiren der Widerstände in der stromlosen Ruhelage eingestellten Galvanometers beobachtet und zwar in dem

Sinne, daß das Uebergehen zu einer höheren Intensität einen geringeren Eisenwiderstand und das Uebergehen zu einer niederen Intensität einen größeren Eisenwiderstand gegenüber dem Widerstande des kupfernen oder messingenen Normalstabes mit sich bringt. Sollte die Compensation der Widerstände vorher nicht ganz gelungen seyn, so wird stets die vorhin gegebene Formel nicht mit constanten Widerständen sich gültig zeigen, sondern in der leicht bei jeder Galvanometerstellung zu übersehenden Abänderung, welche ein etwas gewachsener, resp. verkleinerter Werth f bedingt.

Bei diesen sogleich sich zeigenden Ablenkungen ist der Einfluß der Temperatur wohl ziemlich ganz als eliminiert anzusehen, übrigens sind auch diese Versuche, wie die früheren, mit sehr mannigfaltigen Variationen des Normaldrahtes durchgeführt worden. Die Beobachtungen sind demnach durchaus sicher, aber ihr quantitatives Ergebnis ist nicht entfernt von solcher Regelmäßigkeit, wie es beim Auftreten der Extracurrents stets zu sehen ist. Ein und derselbe Eisenstab zeigte z. B. bei Verdoppelung, resp. Halbierung der Intensität Widerstandsänderungen zwischen $\frac{1}{5000}$ und $\frac{1}{20000}$. In Uebereinstimmung mit den Erscheinungen der Extracurrents ist beim Eisen nur der Umstand, daß im Ganzen bei längerem Gebrauche, ja sogar schon im Laufe einer Versuchsreihe von einigen Stunden, größere Wirkungen erzielt zu werden scheinen. Beim Stahl ist das nicht stets der Fall; einer der Stahlstäbe z. B. der anfangs sehr deutliche Wirkungen sehen liefs, zeigte dieselben nach längerem Gebrauche gar nicht mehr. Das Eisen ist in Bezug auf diese Widerstandsänderung im Ganzen jedoch nicht gegen den Stahl bevorzugt, der eben so große Wirkungen aufweisen kann. Noch weniger gilt die bei den Extracurrents hervortretende starke Mehrwirkung bei dicken Stäben, es herrscht vielmehr zwischen Stäben von 4,5 6 und 10^{mm} Durchmesser hier kein erheblicher Unterschied und dieser scheint sogar eine ganz geringe Mehrwirkung der dünneren Stäbe anzudeuten. Die

sämmtlichen Veränderungen bei Verdoppelung der Intensität haben sich etwa zwischen $\frac{1}{3000}$ und $\frac{1}{20000}$ bewegt und entzogen sich in manchen Fällen sogar ganz der Wahrnehmung.

Diese Erfahrungen sind geeignet, die vorhin bereits erkannte Abhängigkeit des Widerstandes von der Richtung der Molecularmagnete noch etwas näher zu charakterisiren. Da ein großer Betrag der Richtung mit dem Aufhören des Stromes auch gleich aufhört, so muß man annehmen, daß ein fortdauernder Strom diesen Betrag gleichsam stets von neuem zu richten gezwungen ist. Dieser Betrag ist weiterhin durch die Extracurrents innerhalb einer mäßig ausgedehnten zusammenhängenden Versuchsreihe wesentlich constant gefunden worden, während andererseits die Gesammtrichtung stetige geringe Fortschritte macht. Es wird deshalb jede Neurichtung um ein Minimum weitergehend gedacht werden müssen, als die vorherige rückwärts strebende Richtung. Nennt man diesen kleinen Mehrbetrag jeder Neurichtung etwa a und ist A der constante Werth jeder einzelnen Richtung (oder auch der davon nur sehr wenig verschiedenen Rückrichtung), so ist die Gesammtrichtung nach n maligem Neurichten also $(A + na)$ und darin na einfach eine Function der Zeit, während welcher der constante Strom wirkte. Bringt man jetzt etwa die Intensität der Strömung durch Ausschalten des Zweigstromes auf das Doppelte, so würde die verdoppelte Elektrizitätsmenge bei jeder Richtung den Betrag $(2A)$ zu liefern im Stande seyn und man hätte am Anfange dieses stärkeren Stromes $(2A + na)$, also die Gesammtrichtung etwas weniger als verdoppelt. Der Widerstand macht dann in diesem Augenblicke einen kleinen Sprung zu geringeren Werthen. Hätte man dagegen die Intensität der Strömung halbiert, statt verdoppelt, so würde man am Anfange des schwächeren Stromes haben $(\frac{1}{2}A + na)$, also etwas mehr als die Hälfte und das involvirt einen Sprung im Widerstand zu größeren Werthen hin.

Man sieht zugleich, daß für die GröÙe dieser Wirkung lediglich das Verhältniß von A zu na maßgebend ist. Vergleicht man z. B. die Wirkung bei Eisen und Stahl, so haben die früheren Ergebnisse gezeigt, daß unter sonst gleichen Umständen beim Eisen sowohl A , als auch na größer ist, als beim Stahl. Es kann daher nicht Wunder nehmen, wenn beide Materialien in dieser Richtung durch das Experiment als nicht sehr verschieden erkannt sind. Daß ferner dünnere Stäbe den dickeren durchschnittlich nicht nachstehen, ist begreiflich. Und endlich versteht es sich von selbst, daß bei verschiedenen Versuchen die Erscheinung in sehr mannigfaltigen Beträgen beobachtet werden muß.

3. Noch bestimmter, wie die eben besprochenen Verhältnisse, tritt der *Einfluß einer Stromesumkehr auf den Widerstand* hervor. Ein solcher ist bei etwa 200 darüber angestellten Versuchen an den verschiedenen Stäben kaum je zweifelhaft gewesen und geht in dem Sinne vor sich, daß der Widerstand in der Richtung, worin die Stäbe zunächst längere Zeit und dann überhaupt vorwiegend dem Strome ausgesetzt waren, größer ist, als in der umgekehrten Richtung. Man kann bei diesem bloßen Umwenden des Stromes offenbar mit großer Sicherheit beobachten, ohne irgend woher Störungen befürchten zu müssen.

Im Einzelnen ist das Ergebniß solcher Beobachtungen dem in der vorigen Nummer besprochenen sehr ähnlich, mit dem Unterschiede nur, daß die Umkehrungswirkung mit größerer Bestimmtheit auftritt. So besteht kein großer Unterschied zwischen Eisen- und Stahlstäben, ebensowenig zwischen dickeren und dünneren Stäben. Die sämtlichen gewonnenen Zahlen liegen zwischen $\frac{1}{2000}$ und $\frac{1}{10000}$. Speciell sey noch erwähnt, daß bei häufigem gleichmäßigem Umkehren des Stromes hin und her die Unterschiede in den Widerständen sich mehrfach viel weniger ausgeprägt zeigten, daß dann aber ein anhaltendes Stromesdurchgehen im ursprünglichen Sinne genügte, um eine bedeutend erhöhte Wirkung hervortreten zu lassen. Dabei waren die

Extracurrents von fortwährend ungeänderter Stärke. Auch möge bemerkt werden, daß häufig nach der Umkehr ein etwas lebhafteres Steigen des Widerstandes wahrzunehmen war.

Die Umkehrungswirkungen sind völlig begreiflich, wenn man bedenkt, daß bei der Umkehr aus dem obigen ($A + na$) wird ($-A + na$), und wenn man diesen Ausdruck auf die einzelnen Fälle anwendet.

Die Resultate dieses Paragraphen sind also verständlich, wenn man, die Kenntniß der Extracurrents vorausgesetzt, annimmt, daß der Widerstand in einem Eisen- oder Stahlstabe, dessen Molecularmagnete in der angegebenen Weise gerichtet sind, ein wenig größer ist, als in nicht gerichteten Stäben.

Ich darf bei diesem Punkte vielleicht auf die Hypothese hinweisen, welche ich vor Kurzem betreffs des galvanischen Leitungswiderstandes in diesen Annalen veröffentlichte und welche auch die Veranlassung der vorliegenden Untersuchung war. Dort war die Bewegung der die Körpermoleküle umgebenden elektrischen Atmosphären als wesentlich für die Verhältnisse des Widerstands aufgefaßt und namentlich auf die nothwendige Aenderung der Bewegungszustände beim Uebertragen der Atmosphären aufmerksam gemacht worden. Die Atmosphäre eines Molecularmagnetes ist nun in einer stetigen Rotationsbewegung um die Axe desselben herum begriffen. Stehen daher die Molecularmagnete in der angegebenen Weise transversal gegen den einen Eisenstab durchfließenden Strom und wird die Transversal-Stellung für den Augenblick vollkommen durchgeführt gedacht, so besitzen zwei in der Stromesrichtung auf einander folgende moleculare Atmosphären in ihren sich zunächst gegenüberliegenden Theilen von Seiten der magnetischen Bewegung gerade entgegengesetzte Geschwindigkeiten. Sind diese zunächst benachbarten Theile es nun, welche hauptsächlich bei der Uebertragung in Betracht kommen, so erscheint es genügend motivirt, daß ein so gerichteter Eisen- oder Stahlstab für axiale Ströme einen

etwas größeren Widerstand bietet. Daß diese Widerstandsbeeinflussungen nach No. 2 um so größer sind, je schwächer die Stromintensität ist, ist hierdurch freilich noch nicht erklärt.

Wollte man die Versuche des Hrn. Beetz¹⁾ über die Zunahme des Widerstands in Stäben, welche der Längsrichtung nach magnetisirt sind, von demselben Gesichtspunkt aus beurtheilen, so möchte ich das nicht für ohne weiteres zulässig halten, glaube vielmehr mit Hrn. Beetz, daß ein anderer Gesichtspunkt, nämlich die gruppenweise erfolgende Annäherung und Entfernung der Moleküle von einander, hier die Hauptgeltung verdient. Dieser Gesichtspunkt muß stets dann in irgend einer Weise hervortreten, wenn die Axen der Molecularmagnete nach irgend welcher geraden Linie angeordnet sind, aber nicht, wenn, wie oben, circulare Anordnung derselben und damit Compensation ihrer gegenseitigen Einwirkung gegeben ist. Ich halte deshalb auch den andern Versuch des Hrn. Beetz, wonach in einer auf die magnetische Axe senkrechten Richtung keine Widerstandsänderung stattfinden soll, für völlig verschieden von den obigen Versuchen und glaube nicht, daß der eine Fall über den andern irgend etwas entscheiden kann.

Zum Schlusse bemerke ich, daß einige Versuchsreihen obiger Art, welche die Widerstände von Kupfer und Messing an demselben Apparate vergleichen sollten, niemals die angegebenen Erscheinungen zeigten.

Aachen, den 30. Juli 1874.

1) Diese Ann. Bd. 128, S. 202.