V. *Ueber das thermo-electrische Verhalten
gedehnter Drähte; von Emil Cohn
aus Neustrelitz.*

(Inaugural-Dissertation.)¹⁾

Eine Untersuchung von W. Thomson über die electrodynamischen Eigenschaften der Metalle²⁾ enthält u. a. Versuche über die Thermoströme zwischen Drähten desselben Metalls, deren einer durch angehängte Gewichte gespannt ist. Nach denselben fließen die Thermoströme bei Erwärmung der Löthstellen auf etwa 100° vom ungespannten zum gespannten (ausgeglühten) Eisen und vom gespannten zum ungespannten Kupfer und Platin.

Ferner fand Thomson, dass, wenn Eisen- und Platin-drähte durch starke Belastungen eine permanente Verlängerung erlitten hatten und dann wieder entlastet wurden, der Strom nicht verschwand, sondern die Nadel über die Ruhelage hinausging und nun einen Strom von entgegengesetzter Richtung anzeigte. Er schliesst daraus, dass für diese Substanzen die Wirkung des augenblicklichen Zuges und die der permanenten Deformation entgegengesetzter Art seien, und er gibt zugleich seiner Ueberzeugung Ausdruck, dass diese Regel allgemein gelte.³⁾

Der erste Theil dieser Versuche wurde 1867 von Le Roux in veränderter Form wiederholt.⁴⁾ Die Spannung der in horizontaler Lage gehaltenen Drähte geschah durch eine Zugschraube, der Contact befand sich in einem Paraffinbad von 200—210°. Le Roux fand u. a. einen Strom vom temporär gedehnten zum nicht gedehnten Metall: bei Eisen („fil du commerce“) und Platin; vom nicht gedehnten zum gedehnten: bei Kupfer.

1) Mit Kürzungen seitens des Herrn Verfassers.

2) Philos. transact. CXLVI. p. 711 ff. 1856.

3) l. c. p. 713.

4) Ann. de chim. et phys. (4) X. p. 226 ff.

Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. VI.

In den Beobachtungen von Thomson und von Le Roux widersprechen sich also die für Eisen und Kupfer erhaltenen Resultate. Der letztere spricht die Vermuthung aus, dass die Ursache in der Verschiedenheit der angewandten Temperaturen liegen möge.

Mit der Absicht, den hervorgehobenen Widerspruch aufzulösen, wurde die vorliegende Arbeit unternommen. Dieser Zweck wurde zum Theil erreicht; gleichzeitig aber zeigte sich eine Reihe unerwarteter Erscheinungen, die bald das Interesse ausschliesslich in Anspruch nahmen.

Zu der Mehrzahl der Versuche diente der folgende Apparat Taf. IV Fig. 8. Die Enden des zu prüfenden, circa 1,6 m langen Drahts waren auf einer Strecke von circa 5 cm auf Eisenplatten gelöthet; mit diesen zusammen, und je mit einer dünnen Bleiplatte bedeckt, wurden sie durch Zugschrauben zwischen eisernen Backen *a* und *b* fest eingeklemmt. Von letzteren befand sich das eine Paar, *a*, fest an dem starken Holzgerüste eines Monochords; das zweite, *b*, bildete das Ende eines Eisenstabes *c*, der mittelst der Zugschraube *e* um eine stählerne Axe bei *d* gedreht werden konnte. Durch Anziehen der Schraube *e* wurde der Draht gespannt. Die Verlängerungen, die er dabei erlitt, wurden mit Spiegel und Scala beobachtet. Zur Bequemlichkeit des Beobachters, der zugleich die Ausschläge des Galvanometerst mittelst eines Fernrohrs ablesen musste, war die Methode der objectiven Darstellung gewählt. Dem Spiegelf *f* gegenüber, der nahe dem Drehpunkte am Hebel *c* befestigt war, befand sich die Lichtquelle *g* in einem Gehäuse mit rechteckigem, horizontalem Spalte; über letztern war der Länge nach ein Haar gespannt, das als Index diente. Eine Convexlinse *h* zwischen Spiegel und Spalt entwarf ein Bild des letztern, das, vom Spiegel reflectirt, auf eine verticale, 70—100 cm vom Spiegel entfernte Scala *i* fiel. Der Hebel *b d* war etwa 8 cm lang. Die Verschiebungen des Lichtzeigers betrugen bei einem Versuche höchstens 20 cm, sind also den Verlängerungen des Drahtes sehr nahe proportional.

Der ausgespannte Draht war an zwei Stellen mit Heizvorrichtungen, k_1 und k_2 , umgeben. Er lief dort durch je ein 1 cm weites und circa 12 cm langes Glasrohr; auf diesem war ein kürzeres Glasrohr von circa 4,5 cm Durchmesser mittelst straff anschliessender Korke befestigt, die ausserdem noch von je einem engen Rohre durchbohrt waren. Indem man mittelst der letzteren einen Dampfstrom durch das äussere Rohr leitete, konnte man den innern Raum nahe auf der Temperatur des Dampfes erhalten, ohne dass der dort befindliche Draht der Einwirkung der Feuchtigkeit ausgesetzt war. — Zur Erwärmung diente regelmässig Wasserdampf; nur bei einem Versuche wurde Anilin benutzt und dadurch eine Temperatur von circa 170° im innern Rohre erzielt.

Innerhalb dieses Rohres berührten sich die Drähte gleichen Materials, deren einer der Spannung unterworfen werden sollte. Die Contacte wurden durch Löthung oder mittelst Quecksilber hergestellt; im letztern Falle waren die Drähte lose durch eingeschobene Korke geführt. Es wurde dafür gesorgt, dass der Contact ausschliesslich an der Löthstelle, resp. im Quecksilber stattfand, — wenn nöthig, indem über die Enden der ungespannten Drähte kurze Glasröhren geschoben wurden.

An die nicht gespannten Versuchsdrähte l schlossen sich Kupferdrähte m , die zum Galvanometer führten. Um jede Temperaturdifferenz dieser Contactstellen zu verhüten, wurden beide in ein gemeinsames Bad n von Terpentinöl getaucht. Bei o befand sich ein Spiegelgalvanometer mit astatischem Nadelpaar, bei p ein Stromunterbrecher. — Die Ausschläge des Galvanometers wurden in üblicher Weise mittelst Fernrohr und Scala beobachtet. Sie stiegen bei einer Entfernung von circa 3 m zwischen Spiegel und Scala nie bis zu 200 mm an, sodass sie unbedenklich den Stromintensitäten proportional gesetzt werden dürfen.

Mit den soeben beschriebenen Versuchen wechselten andere ab, in denen der Draht frei hängend durch an-

gehängte Gewichte gespannt wurde. Der Apparat wurde in verticale Stellung gebracht, die Schraube e nebst Zubehör entfernt. Alles Uebrige blieb ungeändert.

In der durch Taf. IV Fig. 8 veranschaulichten Weise sei ein Stromkreis gebildet aus drei Stücken eines harten Eisendrahtes von 0,6 mm Durchmesser, die in k_1 und k_2 aneinander gelöthet sind, nebst Galvanometer und Zuleitungsdrähten. Der mittlere, zwischen a und b ausgestreckte Draht sei vorgängig mit der höchsten Spannung in Anspruch genommen, die er bei dem folgenden Versuche erleiden soll, — sodass bleibende Deformationen während des letztern nicht mehr eintreten — und wieder entspannt.

Wird dann die Contactstelle k_2 auf eine constante Temperatur von circa 100° gebracht, und der mittlere Draht durch Anziehen der Schraube gespannt, so weicht sofort die Nadel des Galvanometers aus in dem Sinne, der — wie in den Versuchen von Le Roux — einen Strom vom gedehnten zum nicht gedehnten Metalle (durch die erwärmte Contactstelle) anzeigt, und nimmt nach einigen Schwingungen einen festen Stand ein. (Dieser ist im folgenden stets gemeint, wo von „Ablenkungen“ oder „Aus-schlägen“ die Rede ist.) — Erhöht man die Spannungen allmählich in messbarer Weise, so erhält man eine Reihe entsprechender, stets wachsender Ablenkungen der Magnetnadel. Hat man die grösste Spannung erreicht und geht nun denselben Weg zurück, so kehrt auch die Nadel um. Ihre Ausschläge stimmen aber nicht mit denen überein, welche vorher für dieselben Spannungen erhalten wurden; sie sind vielmehr nach dem Punkte hin, der der Spannung Null entspricht, verschoben. Erst wenn man zur völligen Entspannung zurückgekehrt ist, hat auch die Nadel die frühere Stellung wieder eingenommen. Jede Wiederholung des Versuchs — wann und mit welchen Zeitintervallen zwischen den einzelnen Beobachtungen man sie auch anstellen mag — liefert wiederum die erste Zahlenreihe für die wachsenden, die zweite für die abnehmenden Spannungen.

Dies zeigen die folgenden, aus einer sehr grossen Zahl ähnlicher herausgegriffenen Versuchsreihen, in denen die erste Zeile die Ablesungen (x) an der verticalen Scala enthält, während die folgenden in Millimetern der horizontalen Scala die zugehörigen Ausschläge (y) des Galvanometers geben. Grössere x zeigen kleinere Spannungen an, grössere y bedeuten stärkere Ströme vom gespannten zum nicht gespannten Eisendrahte.

Ia.

x	38	34	30	26	30	34	38
y	249,5	264	271,5	283,5	262	253,7	249,5
y	249,5	263,7	271,2	282,7	260,5	252	248.

Die erste dieser Beobachtungsreihen ist durch die Curve a Fig. 1 dargestellt, bei der der Pfeil angibt, in welcher Reihenfolge die Ausschläge durchlaufen werden. Abscissen sind die Grössen $(38 - x)$, die, nach den Angaben (p. 386 und 389), den Verlängerungen proportional sind. Als Ordinaten sind die Grössen $(249,5 - y)$ gezeichnet, sodass der absolute Werth derselben ein Maass der durch die temporäre Dehnung veranlassten Ströme ist, und ihr negatives Vorzeichen ausdrückt, dass diese Dehnung einen vermehrten Strom vom gespannten zum ungespannten oder einen verminderten Strom vom ungespannten zum gespannten Drahte zur Folge hatte.¹⁾

Fig. 1.

1) Ein Maass der Stromintensität selbst wäre $(249,5 - y)$ nur dann, wenn für die Spannung 0 ($x = 38$) der Strom ebenfalls $= 0$ wäre, was im allgemeinen nicht der Fall ist, (vgl. p. [385] und unten p. [395] ff.).

Es werde der Kürze wegen die gebrochene Linie, welche die durch die Beobachtung gegebenen Punkte verbindet, als „Curve“, und derjenige Theil derselben, der die Beobachtungen von der Spannung Null zur Maximalspannung darstellt, als der „aufsteigende“, der andere als der „absteigende Zweig“ bezeichnet. Es heisse ferner das Gebiet der positiven Ordinaten, sowie die Richtung, in welcher sie wachsen, „positiv“.

Dehnt man die Versuchsreihen bis zu stärkern Spannungen aus, so tritt eine neue Erscheinung hinzu. Ein Versuch, mit demselben Drahte unter denselben Umständen ausgeführt, ergab:

Ib.

x	38	34	30	26	22	26	30	34	38
y	—	—	—	—	292	267,5	251	248,5	249
y	249	259	264	272	291	266	249,5	247,5	248,5
y	248,5	258	263,5	270,2	290	—	—	—	—

ein späterer, bei noch weiter gesteigerten Spannungen:

Ic.

x	21	19	17	15	13	11	9	7	5	3
y	205	202	196,5	196,5	196	190	181	170	158,7	146,3
y	206	201,5	197	197	196,3	190,5	181	170	158,7	146,3
x	5	7	9	11	13	15	17	19	21	—
y	159,5	172	184	195	205	212	213,3	209	206	—
y	159,7	172,7	184,5	196	205,5	212,5	214	209,7	206	—

Die Curven (Fig. 1) *b* und *c* mit entsprechendem Index stellen je eine der Beobachtungsreihen dar. In Fig. 1 *b* sind die Coordinaten, wie oben ($38-x$) und ($249-y$). Bei dem Versuche 1 *c* dagegen wurde die andere Contactstelle (k_1) erwärmt, auch war die Scala vorher verschoben worden; dem entsprechend sind als Abscissen die Werthe ($21-x$), als Ordinaten ($y-206$) gezeichnet.

Während in der Curve *a* beide Zweige mit ziemlich gleichmässiger Krümmung verliefen, wechseln hier im aufsteigenden Zweige Strecken stärksten Abfalls mit solchen

kaum merklicher Neigung. Noch complicirter gestaltet sich der absteigende Zweig. Er schneidet bereits bei einer gewissen Spannung die Abscissenaxe, tritt in das positive Gebiet ein, erreicht dort ein Maximum, ändert seine Richtung und kehrt so zum Ausgangspunkte zurück. — Geht man also z. B. in der Curve *c* von der Spannung 4 zu 0 über, und von da zu 4 zurück, so ändert sich während dieser Zeit der Strom fortwährend im gleichen Sinne. Ganz analog dem harten Eisendrahte verhält sich harter Stahldraht; nur sind bei ihm die Differenzen zwischen den beiden Zweigen merklich kleiner.

Dieselben Eisen- und Stahldrähte zeigen jedoch ein völlig verändertes Verhalten, nachdem man sie zur Rothgluth erhitzt und dadurch weich gemacht hat.

Bei mässiger Spannung entsteht hier, wie in Thomson's Versuchen, ein Strom vom ungedehnten zum gedehnten Metall. Der absteigende Zweig weicht wiederum von dem aufsteigenden nach der positiven Richtung hin ab, die hier aber zugleich die der höhern Spannungen ist. Fig. 2*a* stellt eine der erhaltenen Beobachtungsreihen dar. — Unterwirft man den Draht starken Spannungen, so compliciren sich auch hier die Erscheinungen und in noch höherem Grade, als bei den harten Drähten. Beide Zweige ändern die Richtung im Anfange ihres Verlaufes, der aufsteigende bei kleinen, der absteigende bei grossen Spannungen. (Fig. 2*b*; derselbe Draht wie in Fig. 2*a*).

Fig. 2.

Ganz Aehnliches gilt für weichen Stahldraht. Da die Hauptrichtung des Stromes für harte und weiche Drähte sich als entgegengesetzt erwiesen hatte, wurde eine Partie

des in beiden Zuständen bereits untersuchten Eisendrahts zuerst ausgeglüht, dann durch das Drahtisen gezogen. Die Stromintensität stieg und sank hier in der unregelmässigsten Weise, ohne dass eine der beiden Richtungen sich hätte als bevorzugt erkennen lassen.

Ausser Eisen und Stahl wurde noch eine Reihe anderer Substanzen geprüft, in der Absicht, auch bei ihnen eine Divergenz des aufsteigenden und des absteigenden Zweigs nachzuweisen. Bei der grossen Mehrzahl derselben fanden sich jedoch die thermo-electrischen Effecte der Spannung überhaupt so klein, dass auf eine Untersuchung in dieser Richtung verzichtet werden musste. — Eine Ausnahme machten nur Platin und Palladium. Bei der letztern Substanz sind die durch die Dehnung erzeugten Thermoströme äusserst intensiv, stärker, als bei irgend einem der übrigen untersuchten Metalle; die Differenzen zwischen den beiden Zweigen dagegen sind so gering, dass sie der Grenze der Beobachtungsfehler sehr nahe kommen. —

Palladiumdraht von 0,6 mm Durchmesser,
durch Hebel und Schraube gespannt. Löthstelle k_2 erhitzt.

x	12	14	16	14
y	477	419	372,5	425
y	—	420	—	424
y	—	422	—	425,5
y	476	422	376	426
y	477	424	376,5	428
y	477	425	378	428
y	479	425	—	427

ferner:

x	10	12	13	14	15	14	13	12	10
y	502	447	—	394	374	397	—	450	499
y	499	445	417,5	394	—	395	422	449	—
y	—	445	—	—	—	—	—	449	—
y	—	446	—	—	—	—	—	449	—

Wie man sieht, verhält sich das Palladium qualitativ wie harter Eisen- und Stahldraht: der Strom fliesst vom gedehnten zum ungedehnten Metalle, und der absteigende

Zweig liegt, wie stets, auf der positiven Seite des aufsteigenden. Die Differenzen sind jedoch äusserst klein, und dies fällt um so schwerer in's Gewicht, als die Grenze der möglichen Beobachtungsfehler hier weiter gesteckt werden muss, als bei den früher mitgetheilten Versuchen. Denn bei dem raschen Ansteigen des Thermostroms, z. B. um 50 Scalentheile zwischen 12 und 10, d. h. für eine Verschiebung des Lichtzeigers um 2 cm, musste sich bereits ein sehr kleiner Einstellungsfehler an der verticalen Scala bemerkbar machen.

In hohem Grade störend wirkten ferner die Contactstellen Palladium-Kupfer, die sich gegen ungleichmässige Erwärmung so empfindlich zeigten, dass eine grosse Zahl von Beobachtungsreihen verworfen werden musste. — Alle überhaupt brauchbaren Versuchsreihen, zu verschiedenen Zeiten und mit Drähten von verschiedener Dicke ange stellt, haben das vorstehend mitgetheilte Resultat ergeben. Es ist aber nicht gelungen, solche Reihen zu erhalten, die dasselbe besser als die mitgetheilten zur Evidenz brächten.

Platindraht von 0,55 mm Durchmesser gab Ströme vom gedehnten zum nicht gedehnten Metalle bis zum Betrage von 30 Scalentheilen. Abweichungen der beiden Zweige konnten nicht constatirt werden; sie steigen also, wenn vorhanden, bei weitem nicht zu der Höhe an, die sie bei Eisen- und Stahldrähten erreichen.

Bei allen jetzt noch zu erwähnenden Substanzen musste ich mich wegen der Kleinheit der beobachteten Effecte darauf beschränken, die Richtung des Thermostroms festzustellen.

Dieselbe fand sich für Kupfer: vom gedehnten zum ungedehnten Drahte, — übereinstimmend mit Thomson's und im Widerspruche mit Le Roux's Versuchen. Das gleiche Resultat gaben: Drähte von 0,56 und solche von 1,1 mm Durchmesser; ferner: käuflicher, weicher, durch Ziehen gehärteter, durch Glühen und Ablöschen weich gemachter Draht. Mit Rücksicht auf die Vermuthung von

Le Roux (s. p. 386) wurde endlich noch ein Versuch bei 170° angestellt, indess mit demselben Erfolge. Die abweichenden Beobachtungen Le Roux's sind also, soweit sie das Verhalten des Kupferdrahts betreffen, nicht erklärt. — Ausserdem wurden noch Silber (Durchmesser 0,35 und 0,8 mm), Neusilber (Durchmesser 0,8 mm) und Zink (Durchmesser 0,86 mm) untersucht. Stromrichtung vom gedehnten zum nicht gedehnten Silber und Neusilber, vom nicht gedehnten zum gedehnten Zink, wie zum Theil bereits Le Roux fand.

Discussion der Beobachtungen.

Der Einfachheit wegen ist im Vorstehenden angenommen, dass man die Spannungen von Null bis zu einem vorher bereits angewandten Maximum wachsen lasse, dann zu Null zurückkehre und diesen Cyclus wiederhole. Geht man statt dessen von einer beliebigen Spannung a aus, schreitet bis zu einer beliebigen Spannung b — unterhalb jenes Maximums — fort, kehrt zu a zurück und wiederholt diese Operationen, so vereinigen sich beide Curvenzweige jetzt selbstverständlich schon in a und b . Gleichzeitig ändern aber auch die zwischenliegenden Punkte ihren Ort; die ganze Curve zieht sich zusammen.

Das allgemeine Resultat der Beobachtungen lautet daher:

„Die Intensität — als eine durch Null hindurch veränderliche Grösse betrachtet — des Thermostromes zwischen gedehnten und ungedehnten Drähten desselben Metalls hängt, abgesehen von allen permanenten Eigenschaften derselben, nicht nur von der gegenwärtigen Spannung der erstern ab, sondern ausserdem, in sehr verschiedenem Grade; je nach dem benutzten Material, von den oberen und unteren Grenzen, zwischen denen seit der letzten völligen Entspannung die Spannungen variirt haben. — Bestimmend ist jedoch nur die Reihenfolge, in der diese Spannungen wirkten, nicht die Zeit, vor welcher oder

während welcher dies geschah. — Der Sinn dieser Abhängigkeit ist im Bereich der Beobachtungen stets derselbe, und zwar so, dass, wenn man sich ein Thermo-Element gebildet denkt aus zwei gleichen Drähten, durch gleiche Gewichte gespannt, deren einer α zuletzt vorher ein grösseres, deren anderer β ein kleineres Gewicht getragen hat, der Strom jedesmal von β nach α fliesst.

Bei Eisen und Stahl können die vorangegangenen Spannungen selbst den Sinn beeinflussen, in dem sich der Thermostrom bei zu- oder abnehmender Spannung ändert. Von einer bestimmten Richtung desselben kann daher bei diesen Materialien in strenger Bedeutung nicht gesprochen werden. Versteht man darunter die Richtung des Stromes, der bei den ersten schwachen Dehnungen entsteht, so ist sie entgegengesetzt für die harten und weichen Drähte, und daraus erklärt sich der Widerspruch zwischen den Beobachtungen von Thomson und denen von Le Roux.“

In der Einleitung wurde ein Einfluss erwähnt, den nach Thomson's Beobachtungen eine vorhergegangene permanente Verlängerung des Drahts auf alle spätern Versuche mit demselben Material ausübt. Dieser Umstand blieb bei der vorliegenden Untersuchung ausser Betracht. Für die graphische Darstellung folgt daraus, dass in jeder Figur die Lage des wahren Nullpunkts der Ordinaten unbekannt ist, und folglich die der verschiedenen Curven zueinander.

Ich gehe nun zu den Versuchen über, die angestellt wurden, um etwaige unbekannte Fehlerquellen aufzufinden, resp. die beobachteten Thatfachen auf bekannte Gesetze zurückzuführen.

Zunächst ergaben mehrfache Vergleichen von Beobachtungen, die an gleichem Material einerseits mit dem Apparate (Taf. IV Fig. 8), andererseits mittelst spannender Gewichte erhalten wurden, dass die Methode, nach welcher die Spannungen hergestellt und gemessen wurden, ohne jeden Einfluss ist. Das Gleiche gilt von der Anordnung

der Contacte. — Sodann konnte von irgend einer Trägheit oder Reibung im Apparate nicht wohl die Rede sein. Bei der verticalen Aufhängung war der Draht vollkommen frei; bei der Spannung mittelst Hebel und Schraube wurden direct die Längen der Drähte beobachtet. Eine derartige Fehlerquelle hätte überdies nur eine Abweichung des absteigenden Zweiges nach der Seite der grösseren Spannungen hin veranlassen und somit einen Theil der Erscheinungen erklären können, die an den weichen Drähten beobachtet wurden.

Auch in einer Zähigkeit des Drahtes selbst, ähnlich der, welche die elastische Nachwirkung bedingt, konnte die Ursache nicht gesucht werden. Dagegen sprach einmal wiederum der Sinn der Abweichung bei den harten Drähten, andererseits ihre völlige Unabhängigkeit von der Zeit. — Dieselbe wurde wiederholt bei verschiedenem Material und verschiedenen Arten der Spannung constatirt.

Hier ein Beispiel. Dasselbe ist am Schlusse einer Beobachtungsreihe enthalten, die hier vollständig angeführt wird, weil sie geeignet ist, allgemein die Abhängigkeit des Stroms von der vorhergegangenen Belastung nochmals, und zwar besonders deutlich, zu zeigen. Es wurde nämlich nur bei einer Spannung beobachtet (dieselbe befindet sich am Kopfe der Tabelle); zwischen je zwei Beobachtungen dagegen der Draht derjenigen abweichenden Spannung s unterworfen, welche die erste Reihe anzeigt. Die zweite Reihe enthält den Stand der Nadel a , die dritte die Zeit der Beobachtung t , die vierte die Ruhelage r der Nadel.

Harter Eisendraht, verticale Belastung 5 kg.

s	25 kg	0	10	0	15	0	20	0	25		0
a	202	217,5	207,5	219	204	218	204	218,5	203	213,5	229
t	—	—	—	—	—	—	—	—	1 h 20 ^m	3 h 15 ^m	—
r	—	—	—	—	—	—	—	—	213	224	—

Von 1^h 20^m bis 3^h 15^m hatte der Draht, ohne berührt zu werden, 5 kg getragen. Wie man sieht, hatte sich in der Zwischenzeit die Ruhelage der Nadel (bei geöffnetem

Stromkreise) und damit die Angabe für „5 kg bei vorangegangener Belastung mit 25 kg“ um 11 Scalentheile verlegt. Eine momentane Entlastung brachte aber sofort die frühere Differenz von 15,5 Scalentheilen hervor.

Von Interesse mag noch die folgende Beobachtungsreihe sein, die sich auf denselben Eisendraht bezieht.

Spannung 4.

<i>s</i>	7	6	5	3	2	1	0
<i>a</i>	209	209,3	209,2	195,3	190,7	189,5	189,5

<i>s</i>	1	2	3	5	6	7	—
<i>a</i>	—	189,5	189,5	203,5	209	210,2	—

Sie zeigt, dass, solange man nach höheren Spannungen nicht unter die actuelle Spannung (4) hinabgeht, nur die höchste vorangegangene Spannung (7) massgebend ist; und umgekehrt nur die niedrigste (0), solange man die actuelle Spannung nach vorangegangenen geringeren Spannungen nicht überschreitet.

Auch von der Zeit, während welcher der Draht der höhern Spannung ausgesetzt war, ist die beobachtete Differenz unabhängig. Stets bewirkt eine momentane Entlastung (oder Verringerung der Belastung) eine veränderte Einstellung im angegebenen Sinne. Sind zum Spannen Gewichte benutzt, so genügt es, dieselben für einen Augenblick mit der Hand zu unterstützen, um, nachdem man die Hand zurückgezogen, den Ausschlag zu erhalten, der einer vorhergegangenen Entlastung entspricht.

Um zu erkennen, ob etwa die vorangegangenen Ströme selbst von irgend welchem Einflusse seien, wurde eine Beobachtungsreihe gemacht, bei welcher während jeder Spannung oder Abspannung der Stromkreis geöffnet war. Es ist die zweite der oben (p. 389) unter Ia angeführten Reihen, während die erste, wie sonst, bei stets geschlossenem Kreise ausgeführt wurde. Beide zeigen die beste Uebereinstimmung.

Eine Beeinflussung der Beobachtungen im allgemeinen hätte ferner stattfinden können durch eine Erwärmung beim

Spannen. Dieser Einfluss verschwand, wenn vorhanden, jedenfalls in kürzester Zeit; denn die Nadel nahm nach wenigen Schwingungen eine feste Stellung ein, in der sie unter sonst günstigen Umständen während 5 Minuten fest verharrte.

Die Aenderung des Leitungswiderstandes konnte sich, selbst wenn sie bis zu mehreren Procenten des Betrags anstieg, nicht wohl bemerklich machen, da der ganze Widerstand des gespannten Drahts nur einen sehr kleinen Theil vom Gesamtwiderstande des Stromkreises ausmachte. — Es wurde gleichwohl eine besondere Untersuchung dieses Gegenstands (an hartem Eisendrahte) unternommen, in der Hoffnung, irgend welche Analogien mit den für die Thermoströme beobachteten Thatsachen aufzufinden. Es ergab sich bei steigenden Spannungen eine gleichförmige Zunahme des Widerstands, und zwar in einem höhern Betrage, als die Verlängerung des Drahts und die damit verbundene Quercontraction (das Verhältniss beider = $\frac{1}{3}$ gesetzt) für sich allein bewirken mussten¹⁾, aber keine Spur einer Abhängigkeit von dem vorhergegangenen Zustande stärkerer oder geringerer Spannung.

Alle im Vorangehenden angeführten Versuche, eine Beziehung zwischen den beobachteten Thatsachen und irgend welchen andern Eigenschaften der untersuchten Materialien aufzufinden, ergaben rein negative Resultate. — Etwas anderes gilt von einer letzten Classe derartiger Versuche, die daher einer ausführlicheren Besprechung bedarf. — Es musste auffallen, dass die Erscheinung, die oben als Divergenz des aufsteigenden und des absteigenden Zweiges bezeichnet ist, vorzugsweise, oder, wenn man die den Palladiumdraht betreffenden Beobachtungen nicht als beweiskräftig ansieht, ausschliesslich bei denjenigen Metallen, Eisen und Stahl, sich zeigt, welche in hervorragender Weise der magnetischen Erregung fähig sind.

1) Wie bereits von Mousson beobachtet wurde; vgl. Wied. Galv. I., § 207.

Nun ist bekannt, u. a. aus Versuchen von Thomson¹⁾, dass das thermo-electrische Verhalten des Eisens durch Magnetisirung geändert wird; andererseits wird durch Dehnung das magnetische Moment eines Eisen- oder Stahlstabs beeinflusst. Letzteres kann in zweierlei Weise geschehen: Zunächst kann auch der unmagnetische Stab oder Draht, wenn er sich unter der Einwirkung äusserer magnetischer Kräfte befindet, durch die mit dem An- und Abspannen verbundenen Erschütterungen magnetisch werden. Es fand sich jedoch, dass derartige Einwirkungen für die vorliegende Untersuchung nicht in Betracht kamen: Versuche, in denen der Draht *ceteris paribus* parallel und senkrecht zum magnetischen Meridian gestellt wurde, ergaben völlig identische Resultate. — Es blieb die zweite Möglichkeit, dass die Drähte bereits beim Beginn des Versuches magnetisch waren, und dass, gemäss den Beobachtungen von Matteucci, Wertheim, Villari²⁾, das magnetische Moment derselben einzig und allein durch die Spannungen und Entspannungen geändert wurde. Dass dies in der That der Fall war, zeigten die wenngleich meistens sehr schwachen Inductionsströme, die beim plötzlichen Be- oder Entlasten in einer übergeschobenen Spirale entstanden. Es ergab sich daher die Frage: ob die beobachtete Divergenz zur Voraussetzung habe, dass der untersuchte Draht von vornherein magnetisch sei, und ob diese auffällige thermo-electriche Erscheinung jedesmal von entsprechenden Aenderungen des magnetischen Verhaltens begleitet sei.

Eine Antwort auf den letztern Theil der Frage hätte nur aus einer quantitativen Untersuchung der Veränderungen gewonnen werden können, die das magnetische Moment eines Drahts durch seine Dehnung erleidet. Eine solche erschien aussichtslos.

Zu einer negativen Entscheidung wäre es ferner hin-

1) l. c. § 134 ff.

2) Vgl. Wied. Galv. II., § 499.

reichend gewesen, die erwähnte Divergenz an einem unmagnetischen Material nachzuweisen. Dies in völlig befriedigender Weise zu thun, ist nicht gelungen. Die Divergenz wurde, ausser bei Eisen und Stahl, nur noch bei Palladium beobachtet, und dort ist sie, wie die Zahlen (p. 392) zeigen, äusserst klein. — Eisendrähte selbst in unmagnetischem Zustande herzustellen und zu untersuchen, zeigte sich unausführbar. Selbst frisch ausgeglühte und mit grösster Vorsicht in den Apparat eingefügte Drähte erwiesen sich beim Spannen als magnetisch.

Ist somit ein directer Beweis für oder wider die Annahme, dass die beobachteten Erscheinungen wesentlich durch gleichzeitige Aenderungen des magnetischen Moments bedingt seien, nicht erbracht, so sind doch Anzeichen vorhanden, die gegen eine solche enge Verknüpfung beider Vorgänge zu sprechen scheinen.

Zunächst ist zu bemerken, dass die Aenderungen des magnetischen Moments durch Zug, gemessen durch die erzeugten Inductionsströme, bei Stücken des gleichen Materials und bei gleich starker und thunlichst gleich schneller Belastung in den weitesten Grenzen schwankten; im Gegensatz dazu zeichnen sich die thermo-electrischen Erscheinungen durch vollendete Regelmässigkeit aus.

Sodann würde man, wollte man einen solchen Zusammenhang statuiren, annehmen müssen, dass das thermo-electrische Verhalten eine ungemein feine Probe auf jede Aenderung des magnetischen Zustands sei, (weit empfindlicher, als irgend eine bekannte Methode sie liefert). Diese Annahme wäre im Widerspruch mit directen, hierüber angestellten Versuchen. Stücke der früher untersuchten Drähte wurden in der oben beschriebenen Art gespannt und entspannt, und die entstehenden Thermostrome beobachtet. Sodann wurden sie im Apparate selbst der Einwirkung von permanenten Magneten oder von Magnetisirungsspiralen, durch welche ein starker Strom floss, unterworfen, und theils während der Einwirkung der magnetisirenden Kräfte, theils nach Aufhebung derselben

von neuem untersucht. — Hierbei zeigte harter Stahldraht keine merklichen Veränderungen, selbst nachdem er bis zu dem Grade magnetisirt war, dass die Pole, der eine unmittelbar neben der erhitzten Contactstelle, durch aufgestreute Eisenfeile sichtbar gemacht werden konnten. — Weicher Eisendraht, neben den (die Pole den Contactstellen gegenüber) in abwechselnden Versuchen zwei kräftige Stabmagnete gelegt wurden, zeigte zwar, wie zu erwarten war, merkliche Aenderungen des thermo-electrischen Verhaltens; aber gerade die Differenzen zwischen den Zahlen des aufsteigenden und des absteigenden Zweigs wurden davon nicht berührt.

Erst als der Draht mit Hülfe einer Spirale und vier grosser Bunsen'scher Elemente magnetisirt wurde, ergab sich ein völlig veränderter Verlauf der Erscheinungen.

Ein sicheres Urtheil darüber, welche Bedeutung auf dem hier behandelten Gebiete den magnetischen Eigenschaften der Metalle zukommt, werden erst spätere Untersuchungen gewähren können. Nach den bisherigen Beobachtungen muss die Annahme als möglich zugelassen werden, dass die beschriebenen thermo-electrischen Erscheinungen nur bei vorgängig magnetisirten Drähten auftreten. In die Zusammenfassungen der Beobachtungen ist eine hierauf bezügliche Clausel nur der Kürze wegen nicht aufgenommen.

Wie bereits p. 395 ausgesprochen wurde, folgt aus den Versuchen, dass Drähte von gleichem Material, durch gleiche Gewichte gespannt, die seit ihrer letzten Entspannung verschieden hohen Spannungen ausgesetzt waren, ein Thermoelement bilden, in welchem der Strom vom vorher schwächer gespannten zum vorher stärker gespannten Drahte fliesst. Dieses Resultat wurde durch einige directe Versuche an harten und weichen Eisendrähten bestätigt. Es diente dazu die folgende Modification der frühern Versuchsanordnung (s. Fig. 9): Zwei Drähte λ und ρ der betreffenden Substanz hingen vertical nebeneinander, jedoch

ohne sich zu berühren. Sie waren an einer Stelle von einer Heizvorrichtung h , wie sie oben beschrieben, umgeben. Innerhalb derselben wurde der Contact durch eine kurze Quecksilbersäule vermittelt. Die letztere ruhte auf einem eingeschobenen Kork, durch welchen die Drähte hindurchgingen. Die Spannung geschah durch angehängte Gewichte. Etwa $\frac{1}{2}$ m oberhalb der Heizvorrichtung waren Drähte von demselben Material angelöthet, die in der früher angegebenen Weise die Verbindung mit dem Galvanometer herstellten. — Beide Drähte (λ und ϱ) waren während der Beobachtungen mit gleichen Gewichten belastet; vor jeder Beobachtung erhielt einer derselben entweder durch ein hinzugefügtes und sofort wieder entferntes Gewicht eine vorübergehende Mehrbelastung, oder er wurde durch Unterstützung mit der Hand für einen Moment entlastet. — Nachstehende Versuchsreihen zeigen das Schema der Beobachtungen.

Ausgeglühter Eisendraht.

Belastung 4 kg. — Stromkreis offen: 212.

Vorhergegangene Belastung in kg		Ausschlag des Galvanometers.			
λ	ϱ				nach $\frac{1}{2}$ Stunde
9	9	227	226	226	226
0	9	212	212	—	211
0	0	225	226	—	225
9	0	239	239	—	241

Grössere Zahlen bedeuten einen Strom von ϱ durch das Quecksilber nach λ . — Die Ausschläge für (9,9) und (0,0) sind, wie es der Fall sein musste, gleich; dass sie nicht mit der Ruhelage (212) zusammenfallen, erklärt sich aus einer Ungleichheit der beiden Drähte, die nach dem Ausglühen zur Herstellung einer leitenden Oberfläche mit Schmirgelpapier abgerieben werden mussten. — Von diesem mittlern Ausschlag weichen diejenigen für (0,9) und (9,0) um gleich viel nach beiden Seiten ab, und zwar in dem verlangten Sinne.

Wenn man für erwiesen hält, dass die im Vorstehenden dargelegten Erscheinungen nicht durch Zufälligkeiten der Versuchsanordnung oder Beobachtungsmethode, sondern durch die Eigenschaften des untersuchten Materials selbst veranlasst sind, und wenn man ferner annimmt, dass dieselben nicht durch magnetische Eigenschaften des letztern bedingt sind, so wird man sie in allgemeinsten Fassung folgendermassen beschreiben können:

„Ein gespannter Draht verhält sich, *ceteris paribus*, verschieden, je nachdem er vorher schwächer oder stärker gespannt war, und diese Verschiedenheit dauert bis zur nächsten Aenderung der Spannung.“

In dieser Allgemeinheit formulirt, finden sich die Ergebnisse der Untersuchung in Uebereinstimmung mit Beobachtungen von W. Thomson über Torsionsschwingungen gespannter Aluminiumdrähte.¹⁾

Andere Beobachtungen, die sich in irgend einen Zusammenhang mit den meinigen bringen lassen, sind mir nicht bekannt.²⁾

Physik. Institut der Univ. Strassburg, 2. Mai 1878.

VI. *Zur Theorie des Mikrophons;* *von Hermann Aron.*

Das Mikrophon beruht bekanntlich darauf, dass Vibrationen in demselben Aenderungen des Widerstandes hervorrufen, wodurch Stromschwankungen entstehen, die man mittelst eines Telephons wahrnimmt. Es soll im Folgenden der Fall behandelt werden, dass die Widerstandsschwankungen unendlich klein gegen den Gesamtwiderstand

1) Phil. mag. (IV.) XXX. p. 64, unter c.

2) Nach dem Abschluss der vorliegenden Untersuchung ist im Maiheft des Philosophical Magazine eine Arbeit von von Tunzelmann erschienen, welche denselben Gegenstand behandelt, deren Resultate jedoch mit den hier mitgetheilten nicht übereinstimmen.