

diesen Gesetzen zu ziehen, so ergeben sie, wie Hrn. W. Weber's Hypothese, labiles Gleichgewicht der Elektrizität in Leitern, das heißt sie treten in Widerspruch mit der aller bekanntesten Thatsache, daß die Elektrizität in Leitern ruhen kann, wenn keine bewegenden Kräfte auf sie wirken. Günstigsten Falls (das giebt auch Hr. C. Neumann in seiner letzten, oben citirten Veröffentlichung der Hauptsache nach zu) wird durch Einführung von Molecularkräften (welche die Gleichungen viel verwickelter machen würden) die Stabilität des Gleichgewichts sich retten lassen für Leiter von mäßigen Dimensionen, nicht für beliebig große. Das sind die Gründe, warum mir das Potentialgesetz eine überwiegend große Wahrscheinlichkeit für sich zu haben scheint, und ich es nach dem bisherigen Stande unserer Kenntnisse für den sichersten Führer im Gebiete der Elektrodynamik, seine Entdeckung aber durch Hrn. F. E. Neumann, den Vater, stets für einen der glücklichsten und fruchtbarsten Gedanken gehalten habe, welchen die neuere mathematische Physik aufzuweisen hat.

#### VI. *Ueber die Stromleitung durch Schwefelmetalle; von Ferdinand Braun.*

Im 9. Hefte dieser Annalen (Bd. 153) befindet sich eine Arbeit von Herwig: „Einige Beobachtungen über das Verhalten von Eisen- und Stahlstäben im galvanischen Strome“, wonach diese Körper je nach Richtung, Intensität und Dauer des Stromes demselben verschiedenen Widerstand entgegensetzen. Die Aenderungen schwanken im Allgemeinen zwischen  $\frac{1}{3000}$  und  $\frac{1}{20000}$  des ganzen Werthes. Diese Arbeit veranlaßt mich, einiges über ähnliche Erfahrungen mitzutheilen, welche ich bei anderen Körpern

gemacht habe, welche ich aber noch nicht soweit verfolgen konnte, daß ich den wahren Grund derselben einfach und präcis auszusprechen im Stande wäre. Ich betrachte daher selbstverständlich die folgende Publication als eine einfache Wiedergabe von Beobachtungen, welche wahrscheinlich noch unter sehr complicirten Bedingungen gewonnen sind, indem ich die genauere experimentelle Analyse mir vorbehalte.

Bei einer großen Anzahl natürlicher und künstlicher Schwefelmetalle und sehr verschiedenen Stücken, sowohl Krystallen von so vollkommener Ausbildung, wie ich überhaupt bekommen konnte, als derben Stücken habe ich gefunden, daß der Widerstand derselben verschieden war mit Richtung, Intensität und Dauer des Stromes. Die Unterschiede betragen bis zu 30 pCt. des ganzen Werthes.

Der Strom von gewöhnlich einem großen Bunsen'schen Elemente durchfloß einen zickzackförmigen, 0,6<sup>mm</sup> dicken Neusilberdraht (von 3,7 S. E. Widerstand), welcher durch sieben auf demselben vertheilte Quecksilbernäpfchen von Kork hindurchgezogen war. Von diesen Quecksilbernäpfchen wurde Zweigstrom abgenommen, welcher das Schwefelmetall und die strommessende Vorrichtung (eine stark dämpfende Wiedemann'sche Bussole mit meist 0,22 S. E. Widerstand) durchfloß. — Die Schwierigkeit dieser Versuche liegt zunächst in zuverlässigen Contacten. Ich habe benutzt Quecksilbercontact, stark gegen geprefste Kupfer-, Platin- und Silberdrähte und endlich bei einem Stück eine bereits vorhandene Fassung mit dicken Neusilberbügeln, welche durch Schrauben gedrückt waren. Diese letztere Art der Fassung hat Hittorf<sup>1)</sup> als die beste gefunden.

Ich muß erwähnen, daß ich keine thermoelektrische Erregung oder Polarisation gefunden habe, welche auch nur entfernt im Stande wäre, die Erscheinungen zu erklären. Ich prüfte dies dadurch, daß ich eine Wippe rasch umschlug, welche den ersten Strom unterbrach und nur

1) Hittorf. Pogg. Ann. Bd. 84, S. 81.

noch 2 bis 3<sup>mm</sup> Weg mit ziemlich großer Geschwindigkeit zurückzulegen hatte, um das Schwefelmetall in den Kreis eines zweiten Multiplicators von passender Empfindlichkeit (Widerstand) einzuschalten.

Bei einer Reihe von natürlichen Schwefelmetallen: Kupferkies, Schwefelkies, Bleiglanz, Fahlerz, bekam ich im Allgemeinen die Erscheinung, daß die Stromintensität verschieden war, je nach der Stromrichtung, daß diese Differenz zunahm mit zunehmender Stromintensität und daß bei Geschlossenhalten des Stromes die Intensität für diejenige Richtung, welche kleineren Widerstand ergab, zunahm, für die entgegengesetzte abnahm. Dabei war stets dafür gesorgt, daß die Contacte möglichst fest anlagen und waren deshalb mit dem zu untersuchenden Stücke an einem gemeinschaftlichen Brett angebracht. Die Vorrichtungen, welche umgeschaltet werden mußten, befanden sich auf einem anderen Tische.

Ich verzichte darauf hier mehrere Reihen anzuführen und wähle nur Beispiels halber eine, welche an einem prismatischen Stücke von gegossenem Kupferkies gewonnen wurde. Dasselbe war in Neusilber gefasst und hatte bei ca. 70<sup>mm</sup> Länge, 20<sup>mm</sup> Breite nur 15<sup>mm</sup> Dicke fast 2 S. E. Widerstand. Bei steigender und sinkender Stromintensität (durch veränderte elektromotorische Kraft) wurde es mit metallischem Widerstand verglichen.

Tabelle I.

Elektr. Kraft.	Stromintensität	
	Kupferkies.	Met. Widerstand.
—	15,8	17,0
—	64,2	63,8
—	75,3*)	75,3*)
—	110,7	114,0
—	117 sinkt rasch	126,5
—	119 - -	178
1 Bunsen	159 - -	230

\*) Der met. Widerstand wurde so gewählt, daß diese beiden Stromintensitäten gleich waren.

Die Verschiedenheit der Stromintensität, je nach der Richtung des Stromes habe ich in vielen Versuchen, sowohl mit starken als schwachen elektromotorischen Kräften, mit ersten Ausschlägen als mit constanten Ablenkungen beobachtet und bei sicherer Fassung stets mit demselben qualitativen Resultat: daß bei kleiner Stromintensität die eine Richtung größeren Widerstand bietet, bei wachsender Intensität beide Richtungen sich gleich verhalten und daß sie dann ihre Rolle vertauschen.

Tabelle II.

Elektr. Kraft.	Stromrichtung I.		Stromrichtung II.	
	Erster Ausschlag.	Constante Ablen- kung.	Erster Ausschlag.	Constante Ablen- kung.
—	10,0	7,8	9,0	5,7
—	43,0	32,0	47	38,2
—	61	45 fällt bis 39.	63	45 steigt bis 49
—	89	59	105	85
—	{ 155	115 - - 106	204	163 - - 167
—	{ —	106	—	166
1 Bunsen	—	120	—	230

Es wird die nächste Aufgabe seyn, womöglich einfachere Versuchsbedingungen herzustellen. Aber es erscheint nicht thunlich, und dies hebe ich hervor, die Erscheinungen durch Fehlerquellen zu erklären, welche bei unserem augenblicklichen experimentellen Standpunkt klar erkannt sind. Mangelhafter Contact ist nicht ausreichend zur Erklärung, denn es ist nicht anzunehmen, daß bei den rasch auf einander folgenden Messungen sich der Contact sollte stets in derselben Periode wie die Stromumkehrung verbessert und verschlechtert haben. In der That, stellt man absichtlich unsichere Contacte her, wie ich dies erreichte, indem ich eine große Anzahl von Kupfer- und Zinkblechen in eine Glasröhre zwischen zwei dicke Drähte presste, so erhielt ich bei Stromwechsel gleichfalls Verschiedenheiten, welche aber willkürlich wechselten oder auch so gingen, daß wenn die Stromintensität eben sank, sie bei plötzlich gewendetem Strom noch mehr fiel.

Nach längerem Liegen (mehrere Monate) zeigte diese Röhre vollständig normales Verhalten, selbst als ich wenig oder viel destillirtes Wasser zwischen die Bleche gab. Ebenso, wenn ich Drähte ganz willkürlich an die verschiedensten metallisch leitenden Gegenstände anlehnen ließ, zeigte sich stets normales Verhalten. Will man die Beobachtungen erklären durch eine Eigenthümlichkeit der Contacte (Uebergangswiderstand), so fehlen uns bis jetzt Untersuchungen hierüber. Allerdings würde ich es nicht für absolut unmöglich halten, daß sehr dünne Gasschichten die Anomalie bedingen und bei gewöhnlicher Temperatur diese Schichten schon die Verhältnisse der unipolaren Elektrizitätsleitung zeigen, welche bei höheren Temperaturen sich in so auffälligem Maaße leicht zeigen lassen. — Durch thermoelektrische Erregung sind die Erscheinungen direct sicher nicht bedingt. Denn einmal müßten dazu thermoelektrische Kräfte von  $\frac{1}{3}$  Bunsen und darüber angenommen werden und außerdem ist nach der Theorie und der Summe sämtlicher Erfahrungen die thermoelektrische Kraft proportional der ersten Potenz der Stromintensität, so daß ein Thermoelement bei geänderter Stromrichtung keine Verschiedenheit des Widerstandes zeigt, vorausgesetzt, daß nicht erhebliche dauernde Erregungen zurückgeblieben sind. In der That war der scheinbare Widerstand einer 64 gliederigen Thermosäule unabhängig von der Stromrichtung; andererseits gab eine Wippe, welche das Schwefelmetall direct nach dem Umschlagen mit einem Multiplicator verband, wie schon erwähnt, keinen irgend in Betracht kommenden Ausschlag. Endlich fiel beim Oeffnen des Hauptstroms, wobei nun noch der Nebenstrom mit dem Schwefelmetall und dem Multiplicator geschlossen war, der Spiegel bis genau zu demselben Scalentheile, bis zu welchem er im ersten, über die Ruhelage gehenden Ausschlag sank, wenn statt des Kiesses ein ihm aequivalenter metallischer Widerstand eingeschaltet war.

Einen Zusammenhang der Richtungen, in welchen ver-

schiedene Leitungsfähigkeit bzw. eine Maximaldifferenz derselben stattfindet, mit den krystallographischen Eigenschaften der Schwefelmetalle habe ich bis jetzt nicht erkennen können, obschon sich häufig Andeutungen zu finden schienen. Ich will nur einen Versuch noch erwähnen, weniger weil ich glaube, derselbe gebe Aufschluss hierüber, als weil er zeigt, daß Fehler, wenigstens im äußeren Contact, nicht die Erscheinungen verursachen können. Unter den Krystallen, welche ich untersuchte, fand ich ein Stück glänzendes Fahlerz von ungemein großem Widerstande. Die Tetraeder derselben lagen ziemlich frei und besaßen große Flächen. Der Strom von 8 Grove'schen Elementen wurde durch den Krystall geleitet und an einer Wiedemann'schen Bussole gemessen, deren Windungen von zusammen 6000 S. E. Widerstand dem Spiegel möglichst genähert waren. Zwei 2<sup>mm</sup> dicke, an den Enden sorgfältig abgerundete und geglättete Silberdrähte, welche möglichst fest an den Krystall gepreßt waren, leiteten den Strom ein und aus. Stand der eine Draht senkrecht auf der horizontal gelegten Tetraederfläche nahe der Spitze, der andere nahe der Grundlinie derselben Fläche, so gab die Bussole unabhängig von der Stromrichtung 27° Ablenkung. Wurde nun der letztere Draht gegen die Basis des Tetraeders gestemmt, so trat sofort das anomale Verhalten ein. In der einen Richtung gaben die 8 Elemente 17° Ablenkung, welche allmählig auf 14° fiel, in der anderen 27°, welche rasch bis 35° und von da ab langsam auf 40° stieg. Bei so immensen Widerständen, welche auch blieben, als die Anlegestellen für die Drähte frisch blank geschabt waren, kann einem mangelhaften Contact die Erscheinung nicht mehr zugeschrieben werden. — Andere Fahlerze (z. B. ein Quecksilberfahlerz mit matter Oberfläche) besaßen Leitungsfähigkeiten, welche mindestens mehrere Millionen mal besser sind.

Es wäre möglich, daß sich die erwähnten Erscheinungen in folgender Weise erklären. Denkt man sich kleine Krystalle, beispielsweise Tetraeder, eingebettet in eine

Grundmasse von anderer Beschaffenheit und seien dieselben so orientirt, daß im Ganzen nach der einen Seite mehr Spizen liegen als Grundflächen, so wird bei Stromdurchgang Folgendes eintreten: Tritt der Strom aus der Grundmasse ein in die Basen der Tetraeder, so findet an der Basis Abkühlung, an der Spitze Erwärmung statt. Die verschwundenen und die erzeugten Wärmemengen sind einander gleich, vertheilen sich aber auf verschiedene Massen; die Grundfläche wird sich stärker zusammenziehen, als jede der drei anderen Flächen sich ausdehnt. Das Tetraeder bleibt sich nicht mehr ähnlich und weicht vor Allem ab von der Form, welche es bei umgekehrter Stromrichtung annimmt. Bei der ersteren Richtung würde die Spitze schärfer, bei der zweiten flacher werden. Es ist somit denkbar, daß bei der einen Richtung die Contacte verbessert, d. h. die Anzahl der Berührungspunkte mit der umgebenden Grundmasse vermehrt, bei der andern Stromrichtung vermindert werden. Diese Aenderung kann im großen Ganzen proportional der entstehenden Wärmeausdehnung, d. h. proportional der ersten Potenz der Intensität gesetzt werden.

Ferner werden die Grundmasse und die eingebetteten Krystalle durch den Strom erwärmt; findet dies in den beiden Medien in verschiedener Weise statt, so verschieben sich die einzelnen Theile gegen einander und es findet wieder eine Contactänderung statt, welche dem Quadrate der Stromintensität proportional gesetzt werden kann. Faßt man alles zusammen, so kann der ganze Widerstand gesetzt werden gleich einer Function von der Form

$$w + c \cdot J + k \cdot J^2$$

wo  $w$  den wahren Widerstand,  $c$  und  $k$  Constanten,  $J$  die Stromintensität bedeutet. Diese Function kann offenbar bei verschiedenem Vorzeichen von  $c$  und  $k$  kleiner als  $w$ , gleich  $w$  und größer als  $w$  werden (vergl. Tab. II).

Ist diese Erklärung richtig, d. h. rühren die Unterschiede her von Contactänderungen, so müssen sich die-

selben auch bei längerem Stromdurchgang (wenigstens innerhalb gewisser Grenzen) in derselben Weise zeigen, d. h. für diejenige Stromrichtung, welche größeren Widerstand besitzt, muß der Widerstand steigen, für die entgegengesetzte fallen — vollständig in Uebereinstimmung mit der Erfahrung.

Dafs bei größeren Stromintensitäten im Inneren mancher der spröden Schwefelmetalle, z. B. Bleiglanz, Contactänderungen auftreten, ist aufer Zweifel, da sich die Stromintensität dann bisweilen sprungweise ändert. Doch lassen sich solche Mineralien ausschliessen. Aber auch in festeren, nicht vollständig homogenen Massen halte ich solche Aenderungen wohl für möglich. Ueberraschend erscheint mir nur, dafs auch bei kleinen Intensitäten und ersten Ausschlägen die Anomalien eintreten. Jedenfalls deutet diese Ueberlegung auf die Möglichkeit von Fehlerquellen, welche vorher vollständig eliminirt werden müssen, ehe man sich der interessanteren Auffassung hingeben darf, welche sofort beim Anblick der Erscheinungen entsteht, dafs man es mit einer Art Richtung der leitenden Molecüle und einer gewissen elektrischen Nachwirkung zu thun hat.

Leipzig, den 23. November 1874.

---

VII. *Ueber die Reflexion des Lichts an der Vorder- und Hinterfläche einer Linse;*  
*von Dr. Krebs,*

Lehrer an d. höh. Gewerbeschule zu Frankfurt a. M.

---

Wenn Licht auf einen durchsichtigen Körper z. B. auf eine Linse fällt, so wird (abgesehen von der Absorption im Innern des Körpers) ein Theil des Lichtes an der Vorderfläche reflectirt, ein anderer Theil geht durch den