

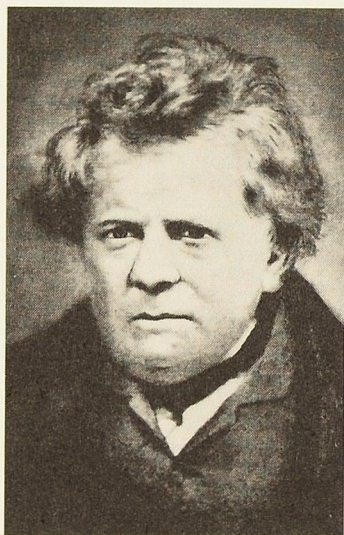
**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 244**

**Das Grundgesetz
des elektrischen Stromes**

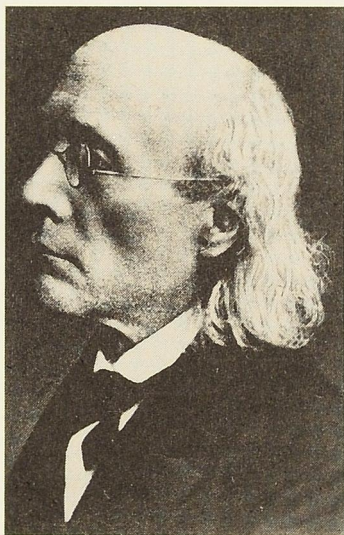
**Georg Ohm
Gustav Fechner**

Verlag Harri Deutsch

**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 244**



Georg Simon Ohm
1789 - 1854



Gustav Theodor Fechner
1801 - 1887

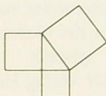
**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 244**

Das Grundgesetz des elektrischen Stromes

**Drei Abhandlungen
1825 und 1826
1829**

**Georg Simon Ohm
Gustav Theodor Fechner**

herausgegeben von
Carl Piel



Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt am Main

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Das **Grundgesetz des elektrischen Stromes** : drei Abhandlungen
1825 und 1826, 1829 / Georg Ohm ; Gustav Theodor
Fechner. Hrsg. von Carl Piel. - Nachdr. der Ausg. Leipzig,
Akad. Verl.-Ges., 1938. - Thun ; Frankfurt am Main : Deutsch,
1996

(Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften ; Bd. 244)

ISBN 3-8171-3244-1

NE: Ohm, Georg Simon; Fechner, Gustav Theodor; Piel, Carl [Hrsg.] ;
GT

ISBN 3-8171-3244-1

Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne
Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für
Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung
und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Der Inhalt des Werkes wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren,
Herausgeber und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und
Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

Die Druckvorlage wurde freundlicherweise von der Bibliothek des Instituts für
Geschichte der Naturwissenschaften der Universität Frankfurt/M. zur Verfügung
gestellt.

© Wissenschaftlicher Verlag Harri Deutsch GmbH,
Frankfurt am Main, 2001

1. Auflage Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G., Leipzig
2. Auflage 1996, 2001

Druck: Rosch - Buch Druckerei GmbH, Scheßlitz

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. GEORG SIMON OHM. Vorläufige Anzeige des Gesetzes, nach welchem Metalle die Kontakt-Elektrizität leiten	1--7
II. GEORG SIMON OHM. Bestimmung des Gesetzes, nach welchem Metalle die Kontakt-Elektrizität leiten, nebst einem Entwurfe zu einer Theorie des Voltaschen Apparates und des Schweiggerschen Multiplikators	8--29
III. GUSTAV THEODOR FECHNER. Drei Versuchsreihen, welche die elektromotorische Kraft und die einzelnen Elemente des Leitungswiderstandes betreffen	30--38
Anmerkungen	38--45

GEORG SIMON OHM.

I.

Vorläufige Anzeige des Gesetzes, nach welchem Metalle die ⁽¹¹⁰⁾ Kontakt-Elektrizität leiten.

SCHWEIGGERS Journal für Chemie und Physik. Bd. 44,
S. 110—118. 1825.

Durch mehrere Wahrnehmungen veranlaßt, habe ich sorgfältige und vielfach wiederholte Versuche über die Fortleitung der Kontaktelektrizität in Metallen angestellt und Resultate erhalten, zu deren schleuniger Mitteilung ich mich um so mehr bewogen fühle, da meine geringe ziemlich verkümmerte Muße mir es nicht gestattet, das Ende dieser Untersuchungen so bald herbeizuführen. Und ich hoffe dem teilnehmenden Publikum einen Dienst zu erzeigen, indem ich an jeder Stelle den Grund angebe, der mich zu einer neuen Reihe von Versuchen bewog.

Zu den Versuchen selbst gebrauchte ich einen Kupfer-Zinktrog von 13 Zoll Höhe und 16 Zoll¹⁾ Länge. Aus dem Zink ging ein Draht *A* in ein Gefäß mit Quecksilber *M*, aus dem Kupfer ein Draht *B* in ein Quecksilbergefaß *N*; ferner wurde ein Draht *C* aus dem Gefäße *M* in ein drittes *O* geleitet. Der Kürze halber werde ich die Drähte *A*, *B*, *C* ⁽¹¹¹⁾ zusammengenommen den *unveränderlichen Leiter* nennen. Außer diesen hatte ich noch 6 andere *o*, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, deren Längen beziehlich $\frac{1}{3}$, 1, 3, 6, $10\frac{1}{3}$, 23 Fuß²⁾ betrug, und die dazu dienten, die Gefäße *N* und *O* miteinander zu verbinden und so die Kette zu schließen, ich werde sie *veränderliche* nennen. Diese veränderlichen Leiter mit Ausnahme des Leiters *o*, der sehr dick war, hatten 0,3 Linien im Durchmesser. Über dem Teile *C* des unveränderlichen Leiters hing eine Magnetnadel in einer Coulombschen

Drehwaage von besonderer Einrichtung, die der jedesmaligen Kraftbestimmung zum Maßstab diene.

Erste Reihe von Versuchen.

Der unveränderliche Leiter war 4 Fuß lang und $1\frac{1}{4}$ Linie dick³⁾. Die veränderlichen Leiter^a wurden in folgender Ordnung angewandt: *o, a, o, b, o, c, o, d, o, e, o*, und jedesmal die Kraft des unveränderlichen Leiters auf die Magnetnadel gemessen. Aus vielen solchen Versuchsreihen ergaben sich folgende Mittelwerte für den Verlust⁴⁾ an Kraft, welcher eintrat, wenn ein veränderlicher Leiter die Kette schloß:

Leiter	<i>o</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
Kraftverlust beobachtet	0,00	0,12	0,25	0,35	0,43	0,58

Der Zahlenreihe liegt die Kraft des Leiters *o*, die ich *Normalkraft* nennen werde, als Einheit zugrunde. Diese Normalkraft wurde an der Drehwaage durch 150 Teile, deren 100 eine ganze Umdrehung ausmachen, angezeigt.

Die Werte dieser Zahlenreihe lassen sich sehr genügend⁽¹¹²⁾ durch die Formel $v = 0,41 \cdot \log(1 + x)$ darstellen, wobei *v* den Kraftverlust und *x* die Länge des veränderlichen Leiters in Fuß anzeigt. Man erhält hieraus durch Rechnung:

Leiter	<i>o</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
Kraftverlust berechnet	0,00	0,12	0,25	0,35	0,43	0,57

Um mich zu überzeugen, ob diese Übereinstimmung nicht vielleicht doch nur zufällig sei, konstruierte ich einen neuen veränderlichen Leiter *f* von 75 Fuß⁵⁾ Länge. Die Beobachtung gab seinen Kraftverlust

= 0,78 bei einer Normalkraft von 168 Teilen
und = 0,75 „ „ „ „ 130 „ .

Die Rechnung gibt für diesen Kraftverlust 0,77 bei einer Normalkraft von 150 Teilen.

Zweite Reihe von Versuchen.

Differenziert man die Gleichung

$$v = 0,41 \cdot \log(1 + x),$$

so erhält man $dv = m \cdot \frac{dx}{1+x}$.

Durch diese Form der Differentialgleichung kam ich auf den Gedanken, ob nicht vielleicht ihre allgemeine Form sein werde $dv = m \cdot \frac{dx}{a+x}$, wobei $a^6)$ von der Länge des unveränderlichen Leiters abhängig sein dürfte; denn da der 4 Fuß lange unveränderliche Leiter $1\frac{1}{4}$ Linie dick war, so war es möglich, daß diese Länge der von einem Fuße des 0,3 Linien dicken Drahtes das Gleichgewicht hielt. Findet sich diese Vermutung bestätigt, so verwandelt sich obige Formel in diese

$$v = m \cdot \log\left(1 + \frac{x}{a}\right).$$

Um hierüber zur Gewißheit zu gelangen, substituierte ich statt der Teile A und B des unveränderlichen Leiters, ⁽¹¹⁸⁾ welche zusammen $2\frac{1}{2}$ Fuß ausmachten, zwei andere von derselben Länge und 0,3 Linien Dicke. Damit angestellte Versuche gaben bei einer Normalkraft von 133 Teilen

Leiter	o	a	b	c	d	e	f
Kraftverlust beobachtet	0,00	0,07	0,16	0,24	0,32	0,49	0,75

Da aber von dem dicken Drahte $1\frac{1}{2}$ Fuß blieb und $2\frac{1}{2}$ Fuß dünner hinzukam, so wäre (wenn nach der oben aufgestellten Vermutung 4 Fuß vom dicken einem Fuß vom dünnen Drahte gleichkämen) für beide zusammen 2,9 Fuß dünner zu setzen. Berechnet man nun v aus voriger Formel, indem man $a = 2,9$ und $m = 0,525$ setzt, so findet man

Leiter	o	a	b	c	d	e	f
Kraftverlust berechnet	0	0,07	0,16	0,25	0,34	0,50	0,75

und man sieht leicht, daß der Wert von m , der allein aus dem Kraftverlust des Leiters f hergeholt worden ist,

den Beobachtungen noch besser hätte angepaßt werden können. Übrigens ist zu bemerken, daß die hier beobachteten Werte nur aus einer einzigen Reihe von Versuchen hergeleitet sind.

Dritte Reihe von Versuchen.

- Ich hatte unterdessen einen ziemlichen Grad von Sicherheit in Versuchen dieser Art erlangt und war auf einen Umstand aufmerksam geworden, der leicht einen Irrtum von 2 und mehr Teilen in jeder einzelnen Beobachtung an der Drehwaage herbeizuführen imstande ist, und den ich in den vorigen Versuchen nicht berücksichtigt hatte, weil er mir damals noch unbekannt war. Dieser Umstand besteht in folgender an sich merkwürdigen Tatsache.
- (114) Wenn nämlich unmittelbar auf den Leiter *o* einer der andern veränderlichen in die Kette gebracht wird, so bedarf es wohl einer halben Minute und darüber Zeit, bis die Wirkung auf die Nadel ihr Maximum erreicht hat, das man abwarten muß, wenn man nicht eine zu kleine Zahl aufzeichnen will; und umgekehrt, wenn nachher wieder der Leiter *o* in die Kette kommt, so ist die Wirkung auf die Nadel in der ersten Zeit zu groß, und man muß, um sicher zu gehen, ihr Minimum abwarten.

So ausgerüstet beschloß ich zur Sicherstellung des aufgefundenen Gesetzes eine neue Reihe von Versuchen, die für jeden Leiter nur aus zwei Beobachtungen, welche äußerst nahe miteinander übereinstimmen, besteht. Dabei brachte ich an die Stelle des Teiles *C* vom unveränderlichen Leiter 2 Fuß 0,3 Linien dicken Draht, so daß also im ganzen der unveränderliche Leiter jetzt aus 4,5 Fuß von demselben Draht bestand, woraus die veränderlichen Leiter *a* bis *f* gebildet waren. Das Resultat dieser Versuche war folgendes:

Leiter	<i>o</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
Kraftverlust beobachtet	0,00	0,04	0,10	0,16	0,23	0,36	0,56

Setzt man in obige Formel, was hier geschehen muß, $a = 4,5$ und wählt für m den Wert 0,452, wie ihn die letzte Angabe liefert, so findet man

Leiter	<i>o</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
Kraftverlust berechnet	0,000	0,039	0,100	0,166	0,234	0,355	0,56

Diese Übereinstimmung der beobachteten mit den berechneten Werten ist als vollkommen anzusehen, um so (115) mehr, als bei diesen Versuchen die Normalkraft an der Drehwaage stets zwischen 44 und 43 Teilen sich aufhielt und ich kleinere als halbe Teile nie berücksichtigt habe.

Nach diesen Versuchen sehe ich das Gesetz ⁷⁾

$$v = m \cdot \log \left(1 + \frac{x}{a} \right)$$

als hinlänglich durch die Erfahrung bestätigt an. Daß es für $x = -a$, $v = -\infty$ gibt, widerspricht keineswegs unserer anderweitigen Vorstellung von der Natur der galvanischen Kraft. Aus ihm erklärt sich von selbst die auffallend starke Wirkung des von WOLLASTON⁸⁾ ausgeführten Glühapparats, ebenso die verhältnismäßig so starke Wirkung des elektromagnetischen Apparats nach der von GILBERT⁸⁾ getroffenen Einrichtung; ferner liegt in ihm der Grund, warum bei SCHWEIGGERS⁸⁾ Multiplikator auf einem gewissen Punkte die Vervielfältigung der Windungen zur Stärke der Wirkung nichts mehr beiträgt; und es fügt noch hinzu, daß durch immer fortgesetzte Vervielfältigung der Windungen die Wirkung wieder abnehmen und zuletzt ganz verschwinden müsse; es verspricht endlich eine tiefere Einsicht in die Natur des Thermomagnetismus⁹⁾.

Der Koeffizient m ist eine Funktion von der Normalkraft, von der Dicke des Leiters, von dem Werte a und, wie ich Ursache zu glauben habe, von der elektrischen Spannung der Kraft. Ich bin eben noch damit beschäftigt, die Natur dieser Funktion durch genauere Versuche fest zu begründen. Um jedoch schon jetzt die Aufmerksamkeit der Naturforscher auf diesen Gegenstand zu lenken, erwähne ich noch folgende Beobachtung. Die Kette war mit dem (116) Leiter f geschlossen und in den Trog verdünnte Schwefelsäure gegossen, wie man sie zu den elektromagnetischen Versuchen anzuwenden pflegt; die Drehwaage zeigte 50 Teile, die Nadel ging allmählich, aber äußerst langsam, rückwärts und nach Verlauf von mehr als einer Viertel-

stunde, als das Brausen schon fast ganz nachgelassen hatte, zeigte die Drehwaage 45 bei einer Normalkraft von 447 Teilen. Frühere Versuche hatten mich aber belehrt, daß bei einem so gefüllten Troge nach Verlauf von 12 Minuten bei schon stiller gewordenem Brausen die Normalkraft noch 1300 Teile betrage. Dieser Leiter ist folglich imstande, die Normalkraft auf weit weniger als ihren 26. Teil zurückzubringen. *Wirkungen von Leitern auf Leiter, die in derselben Kette sich befinden, können durch solche Hindernisse leicht 1000fach geschwächt werden.*

Nachschreiben¹⁰⁾.

Eine nähere Untersuchung in bezug auf das Steigen und Fallen der Kraft bei verändertem Zwischenleiter in der elektrischen Kette hat mich zu folgenden Resultaten geführt:

1. Die elektrische Kraft ist bei jedem Leiter im ersten Augenblicke der Schließung der Kette am stärksten, nimmt von da an allmählich ab und gelangt endlich, wenn man sich die leitende Flüssigkeit unverändert denkt, zu einem Minimum. Durch ein Öffnen der Kette auf längere Zeit erhält sie wieder ihre vorige Stärke.

2. Dieses Minimum liegt der anfänglichen Kraft beim (117) längeren Leiter verhältnismäßig näher als beim kürzeren (es versteht sich, daß hierbei die Dicke konstant angenommen wird); daher wächst die Kraft allmählich und gelangt scheinbar zu einem Maximum, wenn unmittelbar nach dem kürzeren ein längerer Leiter in die Kette gebracht wird.

Nachdem ich die Natur dieser Erscheinung erkannt und ihre Größe in verschiedenen Fällen ausgewertet hatte, stand ich keinen Augenblick mehr an, in ihr den Grund zu suchen, warum die Wirkung des Wollastonschen Glühapparats, wenn sie bereits aufgehört hat, dadurch daß man ihn auf kurze Zeit der Luft aussetzt, wiederholt erneuert werden kann. Ich überzeugte mich hiervon noch besonders auf folgende Weise: Den an dem Zinke angebrachten Kupferstreifen schnitt ich, soweit er über dasselbe herausragte, ab und verband die beiden Stücke durch

einen Streifen Elfenbein, der die Leitung unterbrach. Auf jedes dieser Stücke schraubte ich ein Schälchen von Messing, mit Quecksilber angefüllt, und verband diese mit einem Bogen von Messingdraht, der die Leitung auf solche Weise wieder ergänzte. Den so abgeänderten Apparat brachte ich hierauf in verdünnte Salzsäure und, als der Platindraht zu glühen aufgehört hatte, schob ich, ohne den Apparat aus der Flüssigkeit zu nehmen, den Messingdraht aus den Schälchen heraus und brachte ihn nach kurzer Zeit wieder in dieselben hinein. Der Platindraht fing dann aufs neue an zu glühen, und ich konnte diese Erneuerung der Wirkung ⁽¹¹⁸⁾ viele Male wiederholen. Als aber endlich durch dieses Mittel kein Glühen mehr bewirkt werden konnte, half auch ein Herausnehmen des Apparats aus der Flüssigkeit und Wiedereintauchen nicht mehr.

GEORG SIMON OHM.

II.

- (137) **Bestimmung des Gesetzes, nach welchem Metalle die Kontakt-Elektrizität leiten, nebst einem Entwurfe zu einer Theorie des Voltaschen Apparates und des Schweiggerschen Multiplikators.**

SCHWEIGGERS Journal für Chemie und Physik. Bd. 46,
S. 137—166. 1826.

(138) Im verwichenen Jahre habe ich in diesem Journal (Bd. 44, S. 110—118) eine vorläufige Anzeige des Gesetzes, nach welchem Metalle die Elektrizität leiten, gemacht und mehrere Reihen von Versuchen mitgeteilt, die mit all der Sorgfalt und Genauigkeit angestellt waren, welche der Gegenstand verdient und gestattet. Fast zu derselben Zeit sind Mitteilungen über denselben Gegenstand aus dem Auslande von zwei gleich rühmlich bekannten Experimentatoren BARLOW und BECQUEREL¹¹⁾ zu uns gekommen, wobei es auffallend war, daß die Resultate dieser beiden Gelehrten, insofern sie sich über den Einfluß der Länge des Leitungsdrahtes erstrecken, sowohl unter sich, als auch von dem durch meine Versuche ermittelten Gesetz so stark abwichen. Ihre Arbeiten, soweit sie mir bekannt geworden sind, habe ich bei meinen späteren Versuchen stets berücksichtigt, und bin so zu der Überzeugung gelangt, daß weder die von diesen Naturforschern über die Länge des Leiters ausgesprochenen Gesetze, noch das von mir angekündigte allgemein und frei von der Einmischung solcher Kräfte seien, die keineswegs zu der Frage, um die es sich handelt, gehören. Dagegen hoffe ich jetzt imstande zu sein, die Parteien miteinander auszusöhnen und ein Gesetz aufzustellen, welches sich sowohl durch vollkommene Übereinstimmung mit den nach allen Grenzen hin fortgesetzten

Versuchen, als auch insbesondere durch die Einheit, welche es über alle den elektrischen Strom angehenden Erfahrungen verbreitet, eine Einheit, wie sie nur im Gefolge der Wahrheit zu erblicken ist, als das reine Gesetz der Natur verkündigt.

Dieses Gesetz erstreckt sich indessen lediglich über die Leitung der Elektrizität durch Metalle und nimmt keine Rücksicht auf die Funktion des flüssigen Leiters in der (139) galvanischen Kette. Meine Versuche über den Einfluß der Flüssigkeiten auf den elektrischen Kreislauf, obgleich sie allmählich mehr und mehr sich entwirren, halte ich noch nicht für geschlossen; aber eben deswegen muß ich mich für jetzt damit begnügen, die Resultate, welche sich bereits rein herausgestellt haben, nur in kurzen Umrissen anzudeuten, und behalte mir vor, eine ausführlichere, die chemischen und elektroskopischen Erscheinungen zugleich in sich aufnehmende, mathematisch bearbeitete Theorie der elektrischen Kette nachzuliefern. Die Hindernisse, welche meine Stellung als Gymnasiallehrer jeder gründlichen Arbeit in ganz außergewöhnlichen Maßen entgegengesetzt, mögen mich entschuldigen, wenn jene Abhandlung in einem größeren Zeitraume, als billig scheint, dieser Anzeige nachfolgt¹²⁾.

Um unnütze Wiederholung zu vermeiden, fahre ich da fort, wo die am Eingange zitierte Ankündigung aufhört, und bitte deshalb den Leser hierauf Rücksicht nehmen zu wollen.

Das beständige Wogen der Kraft (a. a. O. S. 116), welches beim Öffnen und Schließen der Kette, oder beim Vertauschen solcher Leiter, die als Schließungsglied der Kette ungleichen Leitungswert haben, stattfindet, erschwert die Versuche ungemein. Um einen Begriff von der Größe und Dauer dieses Wogens zu geben, wird es nicht überflüssig sein, einige von den Versuchen, deren ich unzählige zur Bestimmung seiner Natur gemacht habe, mitzuteilen.

Die Kette wurde mit dem Leiter *o* geschlossen und der (140) Stand der Nadel von 5 zu 5 Minuten beobachtet; es ergaben sich allmählich folgende Resultate: 180, 135, $125\frac{1}{2}$, $119\frac{1}{2}$, 115, $111\frac{3}{4}$, $109\frac{1}{2}$, $107\frac{3}{4}$, $106\frac{3}{4}$, $105\frac{3}{4}$, 105, $104\frac{1}{2}$, eine Stunde später $100\frac{1}{2}$, so daß also im ganzen 2 Stunden

5 Minuten verflossen waren. Nach wenigen Minuten, während welchen die Kette offen blieb, zeigte die Nadel, die so schnell als möglich in der Visierlinie zur Ruhe gebracht worden war (was mit einiger Übung durch ein ihren Schwingungen entgegenlaufendes Drehen in kurzer Zeit zustande zu bringen ist), wieder mehr als 180 Teile längere Zeit hindurch. Die Kette wurde aufs neue geöffnet und die Nadel durch ein zur Seite angebrachtes Hindernis gezwungen in der Visierlinie zu bleiben, hierauf die Scheibe auf 500 gestellt und die Kette durch den Leiter *o* geschlossen, — und siehe, die Nadel legte sich auf der entgegengesetzten Seite, wo in einiger Entfernung ebenfalls ein Hindernis angebracht war, mehrere Sekunden lang an*). Dieses Wogen der Kraft war aber schon bei dem 75 Fuß langen Leiter nicht mehr von erheblichem Umfange.

Es gibt meines Wissens nur ein Mittel dieses Wogen der Kraft ziemlich unschädlich zu machen, welches darin besteht, daß man die Kette vor Anfang der Versuche längere Zeit geschlossen hält und während der Versuche (141) selbst nie öffnet, d. h. mit dem folgenden Leiter erst schließt, ehe man den vorhergehenden aus der Kette nimmt. Bei Versuchen, wo Leiter von ungefähr gleichem Leitungswerte abwechselnd in die Kette gebracht werden, ist dieses Hindernis, wenn man die eben angeführte Vorsichtsmaßregel beobachtet, als nicht vorhanden anzusehen, und solche Versuche lassen daher einen hohen Grad der Genauigkeit zu.

Auf diese Weise bestimmte ich das Leitungsvermögen verschiedener Metalle. Ich nahm zylindrische Drähte von einerlei Dicke und verschiedenem Stoffe, brachte nach und nach je zwei abwechselnd in die Kette und kürzte denjenigen, der die Kraft am meisten schwächte, so lange ab, bis er mit dem anderen ungefähr gleichen Leitungswert erlangt hatte. Am besten tut man, aus 2 nahe aneinander liegenden Bestimmungen, wovon die eine zu viel, die andere zu wenig gibt, ein Mittel zu nehmen. So gelangte ich zu nachstehenden Verhältniszahlen für die Länge der

*) Es ist daher kein Wunder, daß ein Herausnehmen des Wollastonschen Glühapparats aus der Flüssigkeit auf kurze Zeit den schon erloschenen Draht zum Wiedererglühen bewegt. Vgl. a. a. O. S. 117.

verschiedenen Metalle, wobei sie gleichen Leitungswert besitzen:

Kupfer 1000, *Gold* 574, *Silber* 356, *Zink* 333, *Messing* 280, *Eisen* 174, *Platin* 171, *Zinn* 168, *Blei* 97¹³⁾.

Ich hatte, als ich im vorigen Jahre diese Versuche anstellte, jeden unter veränderten Umständen einige Male wiederholt und mit sehr geringen Abweichungen stets dieselben Resultate erhalten; seitdem habe ich aber Erfahrungen gemacht, die mich bewegen, Mißtrauen in jede Angabe der Art zu setzen. Als ich nämlich etwa ein halbes Jahr später dieselben Versuche wiederholen und mit Kupfer, Gold und Silber den Anfang machen wollte, da ging zu⁽¹⁴²⁾ meinem Erstaunen das Silber entschieden über das Kupfer hinaus. Glücklicherweise besaß ich noch das Stück Silberdraht, womit ich meine früheren Versuche angestellt hatte, und siehe, es reihte sich dieses wieder in seine alte Stelle ein. Beide Silberexemplare waren aus Hornsilber¹⁴⁾ gewonnen, folglich gleich rein, sie unterschieden sich durch nichts voneinander, als daß die Oberfläche des jüngsten sorgfältig gereinigt, die des älteren aber mit einer Ölhaut¹⁵⁾, die sie beim Ziehen angenommen hatte, überzogen war. Dieser Umstand bewog mich meine Versuche vorläufig einzustellen. Gerne hätte ich sie an dem unten beschriebenen Apparate, der äußerst sichere Resultate gibt, wieder aufgenommen, aber dazu fehlten mir die Metalle in der erforderlichen Quantität; ich hoffe später einmal darauf zurückkommen zu können.

Ferner nahm ich Drähte von gleichem Stoffe und verschiedener Dicke, innerhalb 0,12 und 1,40 Linien, und verfuhr mit ihnen ganz so, wie bei der Bestimmung des Leitungsvermögens der Metalle geschehen ist. So ergab sich folgendes Gesetz: *Zylindrische Leiter von einerlei Art und verschiedenem Durchmesser haben denselben Leitungswert, wenn sich ihre Längen wie ihre Querschnitte verhalten.* Auf dieses Gesetz wurden auch BARLOW und BECQUEREL durch ihre Versuche geführt.

Zu bemerken ist auch hier der Umstand, daß stets der dickste Draht von der Regel mehr oder weniger abwich; aber er war geblieben wie er war, mit mehr oder weniger rein metallischer Oberfläche, während die anderen über dem Ziehen mit einer Haut ziemlich gleichmäßig sich be-⁽¹⁴³⁾

deckt hatten. In meinen späteren Versuchen habe ich auf diesen Umstand stets Rücksicht genommen.

Bei Versuchen, die sich auf die Länge des Leiters beziehen, ist jenes Wogen der Kraft von sehr nachtheiligem Einflusse, weil hier Leiter von sehr ungleichem Werte nacheinander in die Kette gebracht werden, woraus eine Unsicherheit entsteht, die durch die fortwährende Änderung, welche die Flüssigkeit und die sie berührenden Metalloberflächen in ihrer chemischen Konstitution erleiden, nur noch vermehrt wird. Ich habe zwar in meinen früheren Versuchen diesem Übelstande dadurch zu begegnen gesucht, daß ich die einzelnen Beobachtungen stets in gleichen Zeiträumen aufeinanderfolgen ließ und zu der ganzen Zeit der Versuche nur solche Abschnitte wählte, in welchen die Wirkung der Kette weniger veränderlich sich zeigte; allein obgleich dadurch die Beobachtungsfehler in ziemlich enge Grenzen eingeschlossen werden, so konnte ich doch nicht hoffen, auf diesem Wege das eigentliche Gesetz der Leitung*) zu entdecken und nahm daher meine Zuflucht zu der thermomagnetischen¹⁶⁾ Kette, deren Beständigkeit von Herrn POGGENDORFF mir empfohlen worden war; und da die auf diesem Wege gewonnenen Erfahrungen das Gesetz der Leitung auf eine entscheidende Weise aussprechen, so halte⁽¹⁴⁴⁾ ich es nicht für überflüssig, meinen dabei gebrauchten Apparat umständlich zu beschreiben, damit der Grad des Zutrauens, den die daraus hervorgegangenen Tatsachen verdienen, sich um so leichter bestimmen lasse.

Ein in der Gestalt einer eckigen Klammer gegossenes Stück Wismut $ab a' b'$ (Fig. 1), dessen längere Seite bb' $6\frac{1}{2}$ Zoll und dessen kürzere Schenkel $ab, a' b'$ jeder $3\frac{1}{2}$ Zoll betragen, war durchgängig 9 Linien breit und 4 Linien dick. An jeden dieser Schenkel befestigte ich mittels zweier Schrauben Kupferstreifen $abcd, a' b' c' d'$, die 9 Linien breit, 1 Linie dick und zusammen gerechnet 28 Zoll lang und so gebogen waren, daß ihre freien Enden $cd, c' d'$ in

*) Daß das in meiner Ankündigung S. 115 aufgestellte nicht allgemein sei, davon habe ich mich durch einen Leiter von 300 Fuß, dessen Querschnitte 5 mal kleiner als der der übrigen war, der also einen Leiter von 1500 Fuß vertrat, überzeugt. Er gab $2\frac{3}{4}$ bei einer Normalkraft von 139 und $1\frac{1}{2}$ bei einer Normalkraft von 76 Teilen¹⁷⁾.

zwei an dem hölzernen Gestelle $f g h i$ angebrachte, mit Quecksilber gefüllte Schälchen m, m' ragten, wenn die ganze Vorrichtung auf dem Gestelle saß.

Auf der oberen Platte $f f$ des Gestelles sitzt die Drehwaage, bei deren Beschreibung ich etwas verweilen werde, da an ihr Abweichungen von der gewöhnlichen Einrichtung

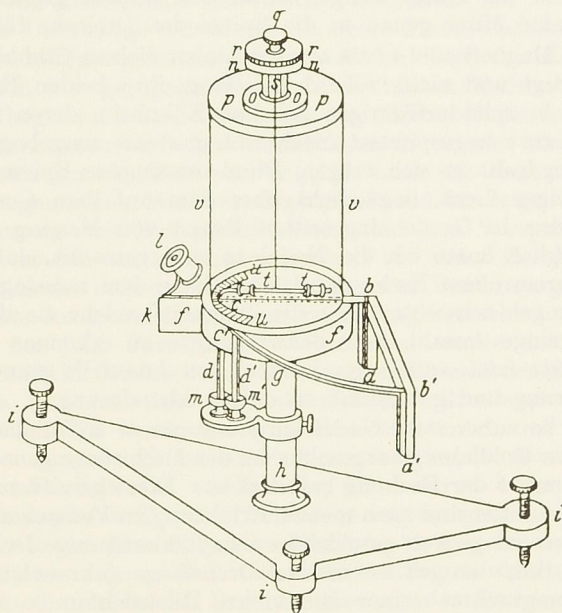


Fig. 1.

Drehwaage.

vorkommen. Der Glaszylinder $v v$, auf welchem sie sitzt, ist 6 Zoll hoch und $4\frac{1}{2}$ Zoll weit. Sie selbst besteht aus 2 Teilen, wovon der eine $n o p$ mit einer schwach konischen Höhlung versehen und auf der oberen Platte des Glaszylinders fest gekittet ist, der andere $q r s$ mit seinem 8 Linien dicken konisch auslaufenden Zapfen in die Höhlung des ersten genau paßt und mit seiner 3 Zoll breiten Scheibe $r r$ auf der eben so breiten Scheibe $n n$ des ersten Teils aufliegt. An dem Zapfen $q s$ ist mit großer Sorgfalt auf der

Drehbank der Mittelpunkt der Drehung durch eine zarte konische Vertiefung angemerkt und hierauf derselbe auf
 (145) einen halben Zoll seiner Länge so lange abgefeilt worden, bis sich auf der dadurch entstandenen ebenen Fläche jene konische Vertiefung als ein vollständiges Dreieck darstellte. Durch eine besondere Vorrichtung wird der Faden, an welchem die Nadel hängt, so an den Zapfen geklemmt, daß seine Mitte genau in die Spitze des Dreiecks fällt*).

Die Magnetnadel *tt* ist aus 0,8 Linien dickem Stahldraht verfertigt und nicht volle 2 Zoll lang, ihre beiden Enden sitzen in zylinderförmigen Stücken Elfenbein, deren eines einen zart zugespitzten, nach unten etwas umgebogenen Messingdraht in sich trägt. Diese messingene Spitze, die als Zeiger dient, liegt dicht über dem auf dem Gestelle ruhenden in Grade eingetheilten Bogen von Messing *u u*. Anfänglich hatte ich die Nadel so lang gemacht, daß sie mit ihrem einen Ende unmittelbar über dem messingenen Gradbogen schwebte; aber die Trägheit, welche sie durch die geringe Anzahl ihrer Schwingungen zu erkennen gab, erinnerte mich an die vor kurzem von ARAGO¹⁸⁾ gemachte Erfahrung und gab Anlaß zu obiger Abänderung.

Die so zubereitete Nadel wird von einem 5 Zoll langen Streifen Goldlahn getragen, der an der Drehwaage genau im Mittelpunkt der Drehung befestigt ist. Diese bandförmigen
 (146) Metallstreifen sind nach meiner Erfahrung zu Versuchen mit der Drehwaage weit geschickter als zylinderförmige Drähte. Der Lahn, den ich an meiner Drehwaage gebrauche, besitzt ungeachtet seiner aus vielen Rücksichten so wünschenswerten Kürze noch in so hohem Grade alle Erfordernisse zu den Drehversuchen, daß die Nadel, nachdem der Lahn eine Spannung von mehr als 3 ganzen Umdrehungen erlitten hat, wieder ihre alte Stellung einnimmt, wenn man die Spannung wieder aufhebt. Demungeachtet habe ich nach jedem Versuche die Nadel im Stande der Ruhe beobachtet, um überzeugt zu sein, daß der Apparat durchaus

*) Diese Drehwaage ist nach meiner Angabe von dem hiesigen sehr geschickten Mechanikus Herrn MAUCH verfertigt worden. Auf dem hiesigen Kabinette befinden sich 2 aus Straßburg gekommene Drehwaagen gewöhnlicher Art, von denen ich aber bald einsah, daß sie zu genauen Versuchen gar nicht zu gebrauchen sind, indem sie zu Fehlern von 30 und mehr Teilen Anlaß geben.