

nicht angewandt werden auf ein Phänomen des Magneto-Elektrismus, nämlich auf die Hervorbringung des Funkens. Dieser erscheint nämlich nur, wenn die metallene Leitung des Stroms irgend wo unterbrochen wird; da tritt also in den Kreislauf des Stroms ein Zwischenleiter, dessen Länge zwar fast unendlich klein, dessen Leitungswiderstand aber dafür auch fast unendlich groß ist. Wir müßten also zur Anwendung der oben entwickelten Formeln erst im Stande seyn, diesen Zwischenleiter auf eine gewisse Drahtlänge, bei gegebenem Durchmesser des Drahtes, zu reduciren, und so m zu bestimmen; allein zu dieser Reduction fehlen uns bis jetzt noch die Data.

II. Ueber die Leitungsfähigkeit der Metalle für die Elektrizität bei verschiedenen Temperaturen; von E. Lenz.

(Auszug aus einer in der Academie der Wissenschaften zu St. Petersburg den 7. Juni 1833 gelesenen und in ihren *Mémoires (Sciences mathem. phys. et natur. Tom. II p. 631)* abgedruckten Abhandlung; mitgetheilt vom Verfasser.)

Der berühmte Humphry Davy war der Erste, welcher zeigte, daß die Leitungsfähigkeit der Drähte für die Elektrizität von ihrer Temperatur abhängig sey, und zwar so, daß die Leitungsfähigkeit abnehme, wenn die Temperatur zunimmt. Den auffallendsten Beweis dafür gab er durch folgenden bekannten Versuch. Er schloß die Pole einer kräftigen voltaschen Säule durch einen Draht, von der Dimension und Leitungsfähigkeit, daß derselbe eben anfang durch den elektrischen Strom roth zu glühen; als er hierauf eine Stelle des Drahtes während dieses Zustandes durch eine darunter gehaltene Lampe zum Weisglühen brachte, so hörte der übrige Theil des Drahtes gänzlich auf zu glühen. Durch die weisglühende

Stelle nämlich ward der elektrische Strom so sehr geschwächt, daß er nicht mehr im Stande war, den Draht rothglühend zu erhalten. — Erkältete dagegen Davy eine Stelle eines rothglühenden Drahtes durch Eis oder einen erkältenden Luftstrom, so fing der übrige Draht augenblicklich an stärker zu glühen, weil die bessere Leitung der erkälteten Stelle dem Strome einen geringeren Leitungswiderstand entgegenstellte als früher, der Strom also kräftiger wirken konnte. Auf diesen Versuch und einige ihm ähnliche sich stützend, haben alle späteren Lehrbücher und Abhandlungen über diesen Gegenstand den Satz der schlechten Leitungsfähigkeit der Metalle für die Elektrizität bei erhöhter Temperatur aufgenommen, ohne daß, meines Wissens, irgend Jemand versucht hätte, die Größe der Abnahme der Leitungsfähigkeit mit dem Wachsthum der Temperatur numerisch zu bestimmen. Die Ursache hiervon läßt sich leicht darin nachweisen, daß die bisher angewandten genauesten Methoden der Bestimmung der Kraft eines elektrischen Stromes zur Ermittlung des in Frage stehenden Punkts nicht wohl ausreichten. Es können diese Methoden nämlich, wenn sich einigermaßen genaue Resultate aus ihnen herleiten lassen sollen, föglicherweise auf zwei reducirt werden, auf die Methode der galvanischen Drehwage und auf die der Oscillationen; die erste wurde besonders von Ohm bei seinen zahlreichen Arbeiten im Gebiete des Galvanismus, die letztere von Fechner in seinen galvanischen Maßbestimmungen angewandt; beide aber sind unzulässig bei der Bestimmung der Leitungsfähigkeit der Metalldrähte bei verschiedenen Temperaturen aus mehreren Gründen; vorzüglich aber, weil sie eine zu lange Beobachtungszeit erfordern, während welcher es unmöglich ist die Drähte in constanten Temperaturen zu erhalten, wenn man sich nicht etwa bloß mit den constanten Temperaturen des Frier- und Siedpunkts begnügen will.

Durch die Entdeckung Faraday's, daß der Mag-

net unter geeigneten Umständen einen augenblicklichen elektrischen Strom hervorzubringen vermöge, ist uns eine dritte Methode angewiesen den fraglichen Punkt zu ermitteln, die den früheren aus folgenden vier Gründen bei weitem vorzuziehen ist.

1) Der elektrische Strom, welcher in einem, den cylindrischen Anker eines Magneten spiralförmig umwindenden, Drahte durch Abreißen desselben vom Magneten erregt wird, kann sehr constant von derselben Kraft erhalten werden, wenigstens wenn schon mehrere Abreisungen vorgenommen worden sind, wie solches aus einer früheren Abhandlung, die ich der Academie vorlegte, und die den Titel führt: »Ueber die Gesetze, nach welchen der Magnet auf eine Spirale einwirkt, wenn er ihr plötzlich genähert oder von ihr entfernt wird etc.« ¹⁾ zur Genüge erhellet, und aus vorliegender Abhandlung noch klarer werden wird.

2) Der Apparat zu unseren Versuchen kann so construirt werden, daß der elektrische Strom, der auf diese Weise erregt wird, nur durch metallische Leiter strömt, wodurch er einer genaueren Berechnung unterworfen werden kann, als wenn er auch durch Flüssigkeiten hindurch müßte, da die Gesetze des Leitungswiderstandes der Metalle gegen den elektrischen Strom, in sofern er von den Dimensionen derselben abhängig ist, als vollkommen ausgemittelt betrachtet werden können, besonders in neuerer Zeit durch Ohm's und Fechner's zahlreiche Versuche.

3) Die augenblickliche Dauer des Stroms läßt eine genaue Berechnung der Kraft, die der Strom auf die Doppelnadel des Multiplicators ausübt, zu, da die Windungen des letzteren auf die Nadel immer in einer und derselben Lage einwirken, nämlich in der, wo die Nadel in Ruhe ist. Ich habe die einfache Formel dafür in der oben erwähnten Abhandlung entwickelt.

4) Die Beobachtung nimmt nur einen Augenblick

1) Es ist eben die vorhergehende Abhandlung.

Zeit, so daß sie für jeden beliebigen Moment des Steigens der Temperatur des zu prüfenden Drahts angestellt werden kann.

Aus diesen Gründen glaubte ich jetzt mit Erfolg zur Ermittlung des Einflusses der Temperatur auf die Leitungsfähigkeit der Metalle für Elektrizität schreiten zu können, und gegenwärtige Abhandlung enthält meine Versuche hierüber und die Resultate, die ich aus ihnen hergeleitet habe, wobei ich mich für's Erste auf fünf Metalle beschränkte, die am meisten bei galvanischen Ketten zu Leitungsdrähten gebraucht werden, nämlich Silber, Kupfer, Messing, Eisen und Platin.

Der Apparat, dessen ich mich bediente, ist dem in meiner früheren Abhandlung beschriebenen ganz ähnlich. Der Multiplicator bestand aus einem Kupferdrahte vom Durchmesser $= 0,061$ engl. Zoll ¹⁾, er macht in zwei Reihen über einander im Ganzen 32 Windungen, war gut mit Seide besponnen, und hatte mit den Leitungsdrähten zusammen, die mit ihm ein Stück ausmachten ²⁾, eine Länge von 827",2. — Der Hufeisenmagnet war ebenfalls der schon gebrauchte und beschriebene, er trug 22 Pfund. — Die elektromotorische Spirale, die den cylindrischen Anker umgab, hatte 25 Windungen, war mit ihren freien Enden 180" lang und 0,044" dick. — Ein Ende des elektromotorischen Drahtes ward unmittelbar mit dem Leitungsdrahte verbunden, zwischen den andern Enden beider ward der Draht hineingebracht, dessen Leitungsfähigkeit für verschiedene Temperaturen geprüft werden sollte. Ich habe schon in meiner früheren Abhandlung bemerkt, daß ein mehrmaliges festes Umeinandervinden der zu verbindenden Drähte eine vollkommene

1) Alle Maasse in dieser Abhandlung sind in englischen Zollen gegeben.

2) Daher im Folgenden die Ausdrücke: »Multiplicatordraht« und »Leitungsdraht« ein und dasselbe bedenten.

Leitung zulasse, und habe mich nochmals davon überzeugt, indem ich diese Art der Verbindung mit der durch Eintauchen in Quecksilber verglich; in beiden Fällen war die erhaltene Abweichung der Magnetnadel des Multipliers, unter sonst ganz gleichen Umständen, ganz und gar dieselbe. Die Länge des zu prüfenden Drahtes ward jedesmal genau gemessen, dann um einen Cylinder zu einer dichten Spirale gewunden, und, nachdem der Cylinder herausgezogen war, auf die Kugel eines Greiner'schen Thermometers Réaum. geschoben, welches mit einer Scale bis zum Siedpunkt des Quecksilbers hinauf versehen war; die Scale war auf Papier getheilt und in eine Glasröhre eingeschlossen, wie dieses bei den Thermometern von Greiner gewöhnlich der Fall ist. — Das Thermometer wurde berichtigt durch Vergleichung mit einem Normalthermometer, und auch die Correction, wegen ungleichförmiger Ausdehnung des Quecksilbers, über den Siedpunkt des Wassers hinaus, nach Dulong und Petit, berücksichtigt. Die im Folgenden angegebenen Temperaturen sind alle bereits auf diese Weise corrigirt worden. — Das Thermometer nebst der darauf stehenden Drahtspirale wurde hierauf in ein cylindrisches, kupfernes, mit Baumöl auf $\frac{3}{4}$ der Höhe gefülltes Gefäß von 5" Höhe und 4" Durchmesser gesteckt, durch Oeffnungen, die zu dem Zwecke in dem Deckel des Gefäßes angebracht waren, so daß aus demselben nur die Thermometerscale und die beiden Enden des zur Cylinderspirale gewundenen, zu prüfenden Drahtes hervorragten, welche letztere mit den übrigen Drähten, durch welche der elektrische Kreislauf gehen sollte, auf gehörige Weise verbunden wurden. — Damit die Dämpfe des sich erhaltenden Oeles mir beim Beobachten nicht beschwerlich fallen möchten, wurde der Deckel des kupfernen Gefäßes fest anschließend gemacht, und die Dämpfe wurden durch ein gebogenes kupfernes Rohr in einen Glaskolben geführt, der von Eisstücken umgeben war. Hierauf

ward das Oel mittelst einer Spirituslampe erhitzt, bis zu der Temperatur, deren Einfluß man gerade bestimmen wollte, und die Abweichung durch Abreißung des Ankers mit seiner elektromotorischen Spirale in dem Augenblick hervorgebracht und beobachtet, in welchem das Thermometer bis auf den bestimmten Punkt stieg; hierauf ward die Lampe entfernt und dieselbe Beobachtung, bei derselben Temperatur, aber beim Sinken des Thermometers durch allmähliges Erkalten der Oelmasse, angestellt. Endlich wurden beide Beobachtungen nochmals wiederholt, so daß bei jeder Temperatur vier Beobachtungen angestellt wurden, zwei bei steigender und zwei bei sinkender Temperatur, wodurch ich die Fehler, die aus einer ungleichen Erwärmung der Spirale und des Thermometers entstehen würden, so viel wie möglich aufzuheben suchte. Indem ich nun auch zu gleicher Zeit, wie ich in meiner früheren Abhandlung solches ausführlicher gezeigt habe, diese vier Beobachtungen so anstellte, daß zwei an dem einen und zwei an dem andern Ende des Multiplicatorzeigers beobachtet, und bei zweien die Ablenkung nach rechts, bei zweien aber nach links hervorgebracht wurden (durch Umkehren des Magneten beim Anlegen an den Anker), so eliminirte ich zugleich die Fehler der Excentricität der Nadel und einer etwaigen Drehung des zusammengesetzten Coconfadens, an welchem die Doppelnadel hing.

Die Beobachtungsreihe für die Leitungsfähigkeit eines jeden Metalls bei verschiedenen Temperaturen fing ich mit der Bestimmung der Kraft des Stroms an, wie sie sich bloß für den elektromotorischen und galvanometrischen Draht, ohne Zwischenbringung des zu prüfenden Drahtes, ergab, und beschloß sie mit einer ähnlichen Beobachtung, wobei ich die Temperatur der Leitungsdrähte mit der des Zimmers gleich annahm; die Angabe derselben, wie sie sich im Mittel aus allen Thermometerablesungen, die nach je vier Beobachtungen des Galvano-

mers an einem besonders dazu angebrachten Thermometer vorgenommen wurden, ergab, findet sich bei jeder der nachfolgenden Versuchstabellen angemerkt. — Aus den Beobachtungen am Anfang und Ende einer jeden Reihe und bei Weglassung des zu prüfenden Drahtes aus dem Umkreise des Stroms ist zu gleicher Zeit zu ersehen, daß in den meisten Fällen der Magnet so gut wie gar nichts an Kraft verloren hat durch die vielen dazwischen vorgenommenen Abreißungen. Nur beim Silberdraht ist eine etwas bedeutende Schwächung zu bemerken, von einem Grade, dagegen beim Kupferdrahte z. B. eine Steigerung der Kraft des Magneten stattgefunden zu haben scheint; indessen kann die geringe Verschiedenheit des Resultats auch in einer Veränderung der magnetischen Erdkraft, in einer geringen Veränderung der Leitungsfähigkeit der Kupferdrähte, da in der That die Temperatur sich im Laufe des Tages um etwas veränderte u. s. w., ihren Ursprung haben. Ich habe immer das Mittel aus der Abweichung am Anfange und Ende der Reihe als die wahre Abweichung angenommen und mit diesem Werthe in Rechnung gebracht.

Für die Berechnung der Leitungsfähigkeit der Drähte bei verschiedenen Temperaturen, aus den beobachteten Ablenkungen der Multiplicatornadel, wählte ich folgendes Verfahren an. Ich reducirte erst jeden Draht auf den Querschnitt des Multiplicatordrahtes nach dem Satze, daß sich die Leitungswiderstände der Drähte umgekehrt wie ihre Querschnitte verhalten; nach dieser Reduction können die Leitungswiderstände durch die Länge der Drähte ausgedrückt werden (da sie denselben proportional sind), dividirt durch ihre Leitungsfähigkeit. Ich nehme für jede Reihe die Leitungsfähigkeit des kupfernen Multiplicator- und elektromotorischen Drahtes als Einheit an, und nenne die Summe der reducirten Länge beider $=L$, so drückt also auch L ihren Leitungswiderstand aus; die auf denselben Querschnitt des Multiplicatordrahtes reducirte Länge des zu prüfenden

Drahtes heiße λ , sein Leistungsvermögen $=\gamma$, ferner heiße die elektromotorische Kraft der Spirale um den Anker für unseren Magneten $=A$, die beobachtete Ablenkung ohne Zwischenbringung des zu prüfenden Drahtes $=a$, dieselbe nach Dazwischenbringung dieses letzteren bei einer gewissen beobachteten Temperatur $=b$. Die Stärke des Stroms für den ersten Fall ist $\frac{A}{L}$, für den zweiten

Fall $\frac{A}{L + \frac{\lambda}{\gamma}}$, und hieraus ergeben sich, wie ich in meiner früheren Abhandlung gezeigt habe, die beiden Gleichungen:

$$\frac{A}{L} = p \cdot \sin\left(\frac{1}{2}a\right)$$

$$\frac{A}{L + \frac{\lambda}{\gamma}} = p \cdot \sin\left(\frac{1}{2}b\right)$$

wo p einen zu bestimmenden Coëfficienten bedeutet, der aber, so wie das ebenfalls noch zu bestimmende A verschwindet, sobald wir die erste Gleichung durch die zweite dividiren; wir bekommen alsdann die Gleichung:

$$\frac{L + \frac{\lambda}{\gamma}}{L} = \frac{\sin\left(\frac{1}{2}a\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}b\right)}$$

und folglich:

$$\gamma = \frac{\lambda \sin\left(\frac{1}{2}b\right)}{L\left(\sin\left(\frac{1}{2}a\right) - \sin\left(\frac{1}{2}b\right)\right)}$$

$$= \frac{\lambda \cdot \sin\left(\frac{1}{2}b\right)}{2L \cos \frac{1}{4}(a+b) \cdot \sin \frac{1}{4}(a-b)}$$

der letzte Ausdruck für γ ist für die logarithmische Berechnung bequemer.

Nach dieser Formel sind nun die in den nachfolgenden Versuchsreihen angegebenen Werthe von γ berechnet, wo sich aber für jede Reihe die γ auf eine andere Einheit beziehen, nämlich auf die der Leitungsfähig-

keit des elektromotorischen und galvanometrischen Kupferdrahts bei der Temperatur, die sie während der Reihe im Mittel hatten, und die daher jedesmal angegeben ist. Die Reduction auf ein und dieselbe Einheit wird nachher beim Zusammenfassen der Resultate für die verschiedenen Metalle vorgenommen werden.

Um das Verhältniß der Durchmesser der verschiedenen Kupferdrähte an meinem Apparate zu bestimmen, bediente ich mich der Abwägung gleicher Längen; die Drähte aus anderen Metallen waren mit einem der Kupferdrähte durch ein und dasselbe Loch gezogen, also mit ihm von gleichem Durchmesser. — Der Werth von L ergab sich hiernach = 1183,55. Der Werth von λ war bei den verschiedenen Drähten etwas verschieden, daher werde ich ihn immer besonders angeben. Ich lasse nun hier die Beobachtungen folgen, indem ich zugleich die aus ihnen berechneten Leitungsvermögen oder γ hinzufüge.

Versuch mit dem Silberdraht.

Reducirte Länge oder $\lambda = 527,12$. — Temperatur des Zimmers = 13,2 R.

Das Silber war vollkommen rein.

Ohne zwischengebrachten Silberdraht erhielt ich:

	Abweichungen				
	1.	2.	3.	4.	Mittel.
Beim Beginn der Reihe	75°,6	73°,4	75°,6	79°,4	76°,00
Beim Ende der Reihe	75°,1	72°,2	74°,7	78°,2	75°,05

} folglich
 $a = 75^\circ 31,5$

Nach Zwischenbringung des Silberdrahts zwischen den Multiplicator- und elektromotorischen Draht ergaben sich bei den beistehenden Temperaturen folgende Abweichungen der Multiplicationsnadel:

Therm. Réaum.	Abweichung der Nadel				Mittel oder b.	γ.
	1.	2.	3.	4.		
0,5	56°,9	55°,2	57°,2	59°,7	57° 12',0	1,59500
	56,7	55,1	57,1	59,7		
15,2	56,3	54,5	57,0	59,0	56 37,5	1,52990
	56,4	54,5	56,7	58,6		
31,0	55,4	53,5	55,4	57,7	55 26,2	1,41359
	55,0	53,5	55,1	57,9		
47,3	54,0	52,8	54,7	57,0	54 37,5	1,33126
63,7	53,6	52,0	54,1	55,6	53 49,5	1,26213
79,7	52,7	51,0	52,9	55,3	52 58,5	1,19383
94,9	51,9	50,0	52,1	54,4	52 6,0	1,12905
110,1	51,1	49,1	51,0	52,9	51 1,5	1,05601
125,3	50,3	48,3	50,3	52,4	50 19,5	1,01181
139,7	49,8	47,7	49,3	51,3	49 31,5	0,96390
155,1	48,7	47,6	48,6	50,5	48 51,0	0,92624
169,6	48,0	46,5	48,3	50,0	48 12,0	0,89134

Versuch mit dem Kupferdraht.

Reducirte Länge oder $\lambda = 534,72$. — Temperatur des Zimmers = 15,1 R.

Das Kupfer war das hier im Handel vorkommende, was fast völlig frei von fremden Metallen ist.

Ohne zwischengebrachten Kupferdraht erhielt ich:

	Abweichungen				Mittel.	
	1.	2.	3.	4.		
Beim Beginn der Reihe	69°,0	67°,2	67°,8	72°,9	69,225	folglich $\alpha = 69^\circ 33',0$
Am Ende der Reihe	70,1	67,5	68,9	73,0		

Therm. Réaum.	Abweichungen				Mittel oder <i>b.</i>	<i>γ.</i>
	1.	2.	3.	4.		
2,60	48°,6	46°,6	48°,3	50°,2	48° 33',0	1,16640
20,80	47,8	45,9	47,3	48,9	47 33,7	1,09023
	47,7	45,7	47,5	48,6		
39,50	45,9	46,0	46,3	48,1	46 34,5	1,02120
59,50	46,0	43,9	45,6	47,1	45 39,0	0,96064
79,40	45,0	43,0	44,7	46,8	44 52,5	0,91394
98,80	44,2	42,6	43,6	46,9	44 19,2	0,88234
118,20	43,2	42,1	42,5	45,2	43 15,0	0,82496
137,40	42,8	41,5	42,2	43,5	42 30,0	0,78284
156,70	42,0	40,2	41,8	43,1	41 46,5	0,75337
175,80	40,6	38,6	40,0	42,1	40 19,5	0,68998
195,00	40,1	38,2	38,8	41,1	39 33,0	0,65875

Versuch mit dem Messingdraht.

Reducirte Länge oder $\lambda = 438,26$. — Temperatur des Zimmers = 14,8.

Der Messingdraht war der im Handel vorkommende.

Ohne Dazwischenbringung des Messingdrahtes erhielt ich folgende Resultate mittelst des elektromotorischen und Multiplicatordrahtes allein.

	Abweichungen				Mittel.
	1.	2.	3.	4.	
Beim Beginn der Reihe	72°,1	68°,8	69°,0	73°,9	70,950
Am Ende der Reihe	70,4	68,0	69,6	73,5	70,375

folglich
 $a = 70^\circ 39',4$

Nach Dazwischenbringung des Messingdrahtes erhielt ich:

Therm. Réaum.	Abweichungen				Mittel. oder <i>b.</i>	γ .
	1.	2.	3.	4.		
2,48	32°,9	31°,5	32°,7	33°,1	32° 33'	0,34845
15,47	31,7	30,7	32,0	32,7	31 46,5	0,33282
39,53	31,2	30,2	31,3	32,3	31 15,0	0,32282
79,38	30,1	29,1	30,5	30,6	30 4,5	0,30129
118,19	29,2	28,1	29,2	29,7	29 14,2	0,28670
	29,4	28,6	29,8	29,9		
156,74	28,2	27,0	28,4	28,6	88 3,0	0,26714
195,02	27,4	26,1	27,6	27,9	27 16,5	0,25467
	27,6	26,1	27,3	28,1		

Versuche mit dem Eisendraht.

Reducirte Länge oder $\lambda = 526,7$. — Temperatur des Zimmers = 13,5.

Das Eisen war das im Handel vorkommende.

Ohne Dazwischenbringung des Eisendrahtes erhielt ich folgende Abweichungen der Multiplicatornadel:

	Abweichungen				Mittel.	
	1.	2.	3.	4.		
Vor Beginn der Reihe	69°,2	67°,0	67°,1	71°,8	68,775	} folglich $a = 68^\circ 40',5$
Am Ende der Reihe	68,7	68,4	66,3	70,0	68,575	

Die Versuche nach Dazwischenbringung des Eisendrahtes ergaben:

Therm. Réaum.	Abweichung der Nadel				Mittel oder ϕ .	γ .
	1.	2.	3.	4.		
3,47	20°,4	20°,3	21°,3	21°,8	20° 55',5	0,21129
	20°,7	20°,4	20°,9	21°,6		
39,53	18°,8	18°,0	18°,8	18°,8	18 36,0	0,17870
	18°,8	18°,0	18°,8	18°,8		
79,38	16°,0	15°,4	15°,6	16°,6	15 56,2	0,14501
	15°,6	16°,0	16°,0	16°,7		
118,19	13°,6	13°,5	13°,6	14°,5	13 46,5	0,12014
	13°,6	13°,5	13°,6	14°,5		
156,74	11°,5	11°,9	11°,7	12°,6	11 58,5	0,10096
	11°,7	11°,8	11°,9	12°,7		
195,02	10°,2	10°,6	10°,0	11°,2	10 31,0	0,08634
	10°,3	10°,7	10°,2	10°,9		

Versuche mit dem Platindraht.

Reducirte Länge oder $\lambda = 528,32$. — Temperatur des Zimmers $= 14,0$.

Das Platin war das hier in der Münze käufliche.

Ohne Zwischenbringung des Platindrahtes erhielt ich:

	Abweichungen				Mittel.	
	1.	2.	3.	4.		
Vor Beginn der Reihe	75°,9	73°,2	75°,0	76°,6	75° 10',2	folglich $\alpha = 75° 12',6$
Am Ende der Reihe	75°,9	72°,9	74°,1	78°,1		

Nachdem der Platindraht dazwischen gebracht worden war:

Therm. Réaum.	Abweichungen				Mittel oder <i>b.</i>	γ .
	1.	2.	3.	4.		
0,9	19°,1	18°,2	19°,5	19°,7	19° 7',5	0,16695
14,6	18 ,4	17 ,8	18 ,9	19 ,1	18 33,0	0,16018
31,0	17 ,8	17 ,1	18 ,0	18 ,5	17 51,0	0,15076
47,3	17 ,2	16 ,7	17 ,7	17 ,8	17 21,0	0,14639
63,7	16 ,7	16 ,0	17 ,2	17 ,3	16 48,0	0,14048
79,7	16 ,3	15 ,8	16 ,7	16 ,8	16 24,0	0,13614
94,9	15 ,8	15 ,2	16 ,1	16 ,3	15 49,5	0,13001
	15 ,9	15 ,1	16 ,0	16 ,2		
110,1	15 ,4	15 ,0	15 ,6	15 ,9	15 28,5	0,18634
125,3	15 ,0	14 ,4	15 ,2	15 ,6	15 3,0	0,12195
139,7	14 ,6	14 ,1	14 ,7	15 ,2	14 32,5	0,11678
155,1	14 ,3	13 ,6	14 ,5	14 ,1	15 22,5	0,11510
169,6	13 ,8	13 ,4	14 ,4	14 ,3	13 58,5	0,11112
185,7	13 ,6	13 ,1	14 ,1	14 ,2	13 45,0	0,10891

Um die Abnahme der Leitungsfähigkeit der Drähte bei Zunahme der Temperatur durch Gleichungen auszudrücken bediente ich mich der Formel:

$$\gamma_n = x + \gamma n + z n^2 (A)$$

wo γ_n die Leitungsfähigkeit der Drähte bei n Grad des Réaumur'schen Thermometers, x die Leitungsfähigkeit derselben bei 0° bedeutet, und wo γ und z bestimmte Coëfficienten sind. Aus den zur Bestimmung von x , γ und z mehr als hinreichenden Werthen von γ_n und n müßten diese Werthe also nach der Methode der kleinsten Quadrate abgeleitet werden; um aber die zu weitläufige Rechnung zu vermeiden, habe ich mich der, in diesem Falle, wo die Beobachtungsfehler doch mehrere Minuten betragen, wohl erlaubten Abkürzungen bedient, dafs ich die erste Gleichung von der zweiten, die zweite von der dritten etc. abzog, und daher eine Gleichung weniger als ursprünglich von der Form:

$$0 = m + ay + bz \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (B)$$

erhielt, aus denen ich nun y und z ableitete, und durch Substitution dieser Werthe in die frühere Gleichung von der Form (A) und dem Mittel aus allen, endlich auch x .

Auf diese Weise habe ich zuerst die Veränderungen der Leitungsfähigkeiten aller fünf Drähte in Formeln ausgedrückt, die sich auf die des Multiplicators und Leitungsdrahtes, als Einheit genommen, beziehen. Diese Einheit variirt aber bei den verschiedenen Drähten etwas, wegen der veränderlichen Temperatur des Zimmers und also auch der Multiplicator- und Leitungsdrähte; um also die Formeln vergleichbar zu machen, mußte eine kleine Correction angebracht werden, die ich dadurch bewerkstelligte, daß ich aus der Formel für den Kupferdraht das Verhältniß seiner Leitungsfähigkeit für die verschiedenen Temperaturen, welche im Zimmer während meiner Versuche stattfanden, herleitete, und hiernach alle Formeln auf ein und dieselbe Einheit, nämlich die der Multiplicator- und Leitungsdrähte bei 14° R., zurückführte. Endlich aber habe ich auch diese Einheit, der bisherigen Gewohnheit zu Gefallen, noch dahin abgeändert, daß ich die Leitungsfähigkeit des Kupferdrahtes bei $0^{\circ} = 100$ setzte und darauf alle übrigen Drähte bezog; diese Operationen sind im Einzelnen aus meiner ausführlicheren Abhandlung zu ersehen; hier gebe ich nur die erhaltenen Resultate, nämlich:

für Silber

$$\gamma_n = 136,250 - 0,49838 \cdot n + 0,00080378 \cdot n^2$$

für Kupfer

$$\gamma_n = 100,000 - 0,31368 \cdot n + 0,00043679 \cdot n^2$$

für Messing

$$\gamma_n = 29,332 - 0,05168 \cdot n + 0,00006132 \cdot n^2 \quad (C)$$

für Eisen

$$\gamma_n = 17,741 - 0,08374 \cdot n + 0,00015020 \cdot n^2$$

für Platin

$$\gamma_n = 14,165 - 0,03890 \cdot n + 0,00006586 \cdot n^2$$

Aus

Aus diesen Formeln sieht man nun, daß die Abnahme der Leitungsfähigkeit der Metalle für die Elektrizität bei Zunahme ihrer Temperatur bedeutend ist, und im Ganzen bei besser leitenden stärker als bei schwächer leitenden; jedoch steht diese Abnahme nicht im bestimmten Verhältniß zur Leitungsfähigkeit, denn sonst müßten die Coëfficienten von n und n^2 für alle Metalle dieselben werden, wenn wir die Leitungsfähigkeit eines jeden Metalles bei $0^\circ = 100$ setzen; wir finden aber in diesem Falle folgende Werthe für diese Coëfficienten:

für Silber	$-0,36568 \cdot n + 0,000590 \cdot n^2$
für Kupfer	$-0,31368 \cdot n + 0,000437 \cdot n^2$
für Messing	$-0,17120 \cdot n + 0,000209 \cdot n^2$
für Eisen	$-0,47200 \cdot n + 0,000847 \cdot n^2$
für Platin	$-0,27461 \cdot n + 0,000465 \cdot n^2$

Wir sehen hieraus; daß die Metalle, was das Verhältniß ihrer Leitungsfähigkeit überhaupt zur Veränderung derselben mittelst der Temperatur betrifft, bedeutend unter einander variiren, und daß in diesem Punkte das Eisen die übrigen Metalle übertrifft. Da dieses Metall bei 0° und im Verhältniß von 17,7 : 14,1 besser leitet als das Platin, dagegen aber bedeutend schneller bei Wachsthum der Temperatur an Leitungsfähigkeit abnimmt, so muß es bei einer gewissen Temperatur eben so gut leitend werden als das Platin, bei höherer aber schlechter. Um die erstere Temperatur zu finden, hat man nur die Formeln für beide Metalle, wie sie in (C.) gegeben sind, einander gleich zu setzen, und daraus n zu bestimmen; man erhält auf diese Weise die Gleichung:

$$0,00008434 \cdot n^2 - 0,044837 \cdot n = -3,576$$

und hieraus:

$$n = 97,7 \text{ und } n = 433,9;$$

welches also anzeigen würde, daß das Eisen bei der Temperatur 97,7 und 433,9 eben so gut leitet als das Platin; zwischen diesen beiden Temperaturen müßte das

Platin unter 97,7 und über 433,9 aber das Eisen besser leiten. Allein da die Formeln aus Beobachtungen hergeleitet sind, die nur von 0° bis 200° gehen, so kann man auch nur für Temperaturen zwischen diesen beiden Punkten auf ihre Richtigkeit rechnen, also auch nur das für bestimmt annehmen, daß unter 97°,7 das Eisen, über 97°,7 bis zu 200° das Platin besser leite. Dieses ersen wir übrigens auch schon aus den Tabellen der Ablenkungen der Multiplicatornadel für beide Metalle, wo die Längen beider Drähte fast genau gleich sind, und wo die Ablenkungen beim Eisendrahte anfangs stärker, bei höheren Temperaturen aber schwächer sind als bei dem Platindraht, wenn wir sie bei beinahe gleichen Temperaturen zusammenhalten. Dieses merkwürdige Verhalten des Platin- und Eisendrahts für die Leitung der Elektrizität könnte wohl einen neuen Grund abgeben (außer der Verschiedenheit in der Reinheit der Metalle), um die Differenzen zu erklären, die sich bei verschiedenen Beobachtern in der Angabe der Leitungsfähigkeit beider Metalle vorfinden.

Man sieht überhaupt, wie diese bedeutende Veränderung der Leitungsfähigkeit der Metalle mit der Temperatur die Berechnung der Wirkungen der geschlossenen galvanischen Kette verwickelter macht, da ja der Strom selbst die Leitungsdrähte erwärmt, und diese Erwärmung wiederum den Strom schwächt. Da frühere Versuche zu beweisen scheinen, daß die Erwärmung der metallenen Schließungsdrähte im umgekehrten Verhältniß ihrer Leitungsfähigkeit stattfindet, so werden schlechter leitende Schließungsdrähte den Strom einer voltaschen Säule aus zwei Gründen mehr schwächen als besser leitende, erstens eben wegen ihrer schlechteren Leitungsfähigkeit, und zweitens wegen der dadurch hervorgebrachten größeren Erwärmung der Drähte. Dieses ist ein fünfter Grund, der Methode, welche ich zur Bestimmung der Leitungsfähigkeit der Drähte anwendete, den Vorzug

zu geben. Bei diesen nämlich schließt der zu prüfende Draht die galvanische Kette immer eine Zeit lang hindurch, er wird also immer eine höhere Temperatur haben als die umgebende Luft, die aber nicht bestimmt werden kann, da sie von so vielen Umständen abhängt. Bei meiner magneto-elektrischen Stromerregung aber wirkt der Strom nur einen Augenblick, und es ist gleichsam nur eine elektrische Welle, die den Draht durchläuft, die Erwärmung kann also nur unbedeutend seyn, und verliert sich gewiß während der Zeit, daß die Nadel des Multipliers in Ruhe kömmt, und ehe die Abreißung des Ankers mit der elektromotorischen Spirale wiederum vorgenommen wird.

Wenn wir unseren Formeln auch Gültigkeit über die höchste, von uns beobachtete, Temperatur von 200° zugestehen wollten, so würde sich aus ihnen ergeben, daß alle Metalle ein Minimum der Leitungsfähigkeit haben, indem das dritte positive Glied der Formeln, welches n^2 enthält, zuletzt das zweite negative zu überwiegen anfängt, von wo an dann die Metalle anfangen mit erhöhter Temperatur besser zu leiten. Dieses Minimum findet sich durch Differenziren der Formeln in Hinsicht auf n und durch Gleichsetzung der Differenziale $= 0$; auf diese Weise ergibt sich

für Silber das Min. bei 310° und ist bei dies. Temp. $= 59$

- Kupfer - - - 359 - - - - - $= 56$

- Messing - - - 421 - - - - - $= 18$

- Eisen - - - 279 - - - - - $= 6$

- Platin - - - 295 - - - - - $= 8$

Die Größen des Minimums der Leitungsfähigkeiten sind immer auf die des Kupfers bei $0^{\circ} = 100$ bezogen.

Das Stattfinden eines Minimums der Leitungsfähigkeit bei einer Temperatur, die für die verschiedenen Metalle zwischen 279° und 425° variirt, steht aber mit dem im Anfang dieser Abhandlung erwähnten Versuche Davy's in offenbarem Widerspruche; denn das Glühen der

Drähte geschieht gewifs bei einer höheren Temperatur als 421° , und doch machte eine Erhitzung des Drahtes vom Roth- zum Weissglühen den Draht nicht besser leitend. Um daher die Zulässigkeit der Formeln für höhere Temperaturen als 200° einigermassen zu prüfen, machte ich folgenden Versuch ¹⁾).

Ich brachte eine Spirale von unbesponnenem Kupferdrahte, welcher dieselbe Dicke, wie meine bisher gebrauchten Drähte hatte, zwischen die elektromotorische Spirale und den Multiplicator (letzterer war aber ein anderer als der bisher gebrauchte). Die zwischengebrachte Spirale war so weit aus einander gezogen, dafs sie sich nirgends mit ihren unbesponnenen Windungen berührte, und dann horizontal über eine hinlänglich grofse Spirituslampe ausgespannt. Hierauf zündete ich die Spirituslampe an, brachte die Spirale zum Glühen und liefs dieses allmählig abnehmen, indem ich die Flamme nicht mit frischem Spiritus nährte, bis sie allmählig verlösch. Ich machte auf diese Weise folgende Beobachtungen:

Die Ablenkung der Multiplicatornadel war	
vor dem Glühen der Spirale (bei 14° R.)	$70^{\circ} 24'$
bei hellem Rothglühen	45 15
bei noch stärkerem Glühen	46 30
bei schwächerem Glühen	46 00
bei noch schwächerem Glühen	44 30
bei noch schwächerem Glühen	44 30
bei kaum bemerkbarem Glühen	45 30
nach eben aufgehörtem Glühen	55 00
nach völligem Erkalten	70 18

Dieser Versuch scheint in der That für ein Minimum der Leitungsfähigkeit zu sprechen, indem der Strom bei Abnahme des Glühens, statt stärker, schwächer wurde, und erst als das Glühen eben wieder aufhörte, wieder

1) Diesen Versuch stellte ich später an, als ich die Abhandlung schrieb, aus der dieser Auszug entlehnt ist, er ist also hier hinzugefügt.

zunahm. Hiernach wäre aber Davy's Versuch, wie ich so eben gezeigt habe, nicht zu verstehen. Jedoch wage ich es nicht, auf den so eben angeführten Versuch hin, eine Autorität, wie die Davy's, zu bestreiten, besonders da bei meinem Versuche immer der missliche Umstand eintritt, daß wir die Temperatur des mehr oder weniger glühenden Drahtes nicht genau messen können.

Ich hatte geglaubt, daß sich eine Beziehung zwischen der Ausdehnung der Metalle durch die Wärme und ihrer geschwächten Leitungsfähigkeit für die Elektrizität ergeben würde; allein ich konnte aus meinen Formeln keine solche auffinden.

III. *Versuche über die Fähigkeit starrer Körper zur Leitung der Elektrizität; von P. S. Munck af Rosenschöld* ¹⁾.

Die Aeußerung in meiner letzten Abhandlung, daß man bei Anfang einer Untersuchung nicht leicht bestimmen könne, wie weit und auf welche Gegenstände man geführt werde, gilt noch mehr von dieser. Es war ein Zufall, welcher mich auf die erste Entdeckung leitete, und während ich mich mit dieser beschäftigte, traten immer neue Erfahrungen hinzu, welche jede für sich weiter verfolgt werden mußten. Ich war daher unschlüssig, ob nicht diese Untersuchung in mehrere Abhandlungen zu theilen sey; als ich aber erwog, daß die Versuche in so genauem Zusammenhange stehen, daß sie kaum getrennt werden dürfen, und alle außerdem die Leitungsfähigkeit fester Körper angehen, hielt ich es für besser, die bei

1) Es ist die dritte aus der Reihe von Abhandlungen, von denen die erste und zweite bereits in diesen Annal. Bd. XXXI S. 433 und Bd. XXXII S. 362 mitgetheilt worden. Die vierte und letzte wird baldigt folgen. P.