

einer transversalen, einer anderen longitudinalen scheint die erste ein dem Hall'schen electrischen analoges Wärmephänomen zu sein, die andere die einfache Aenderung der Wärmeleitungsfähigkeit des Wismuths beim Magnetisiren; die letzte Annahme machen die Verff. nicht, die erste aber verwerfen sie direct. Nur die weiteren Untersuchungen können diesen sehr wichtigen und interessanten Umstand erklären.

Die erwähnte Reihe von Fragen soll demnächst den Zweck meiner Experimentaluntersuchungen bilden.

Strassburg i/E., Januar 1887.

**IV. Messung der electromotorischen Kraft des
electrischen Lichtbogens, II.;
von Viktor v. Lang.**

(Aus dem 95. Bde. der Sitzungsber. der kais. Acad. d. Wiss. II. Abth.
vom 13. Jan. 1887 mitgetheilt vom Hrn. Verf.)

I. Ich habe vor einiger Zeit¹⁾ eine Methode angegeben, nach welcher der Widerstand einer Leitung gemessen werden kann, auch während ein Strom in derselben circulirt. Diese Methode habe ich dann angewandt, um die electromotorische Kraft eines von Kohlenspitzen gebildeten Lichtbogens zu bestimmen. Ein derartiger, am 8. April 1885 ausgeführter Versuch ergab für diese Gegenkraft die Grösse von 39 V. Natürlich fühlte ich das Bedürfniss, diesen einmaligen Versuch zu wiederholen und womöglich auch den Lichtbogen zwischen Metallspitzen zu untersuchen.

In der That habe ich diesen Versuch, trotz seiner Umständlichkeit, am 25. Juni 1885 wiederholt und dabei auch Electroden aus Kupfer untersucht.

Die Anordnung des zweiten Versuchs war genau die-

¹⁾ V. v. Lang, Wien. Ber. 91. II. p. 844. 1885; Wied. Ann. 26. p. 145. 1885.

selbe, wie die des ersten, nur wurden diesmal 64 Bunsenelemente angewandt, und zur Ersetzung der Lichter standen jetzt Widerstände zur Verfügung, die aus spiralig in Luft ausgespanntem Neusilberdrahte von 1,6 mm Durchmesser bestanden. Auch die Herren Professoren K. und F. Exner und Dr. Lecher hatten wieder die Güte, mir dieselbe Hülfe zu leisten, wie das erste mal.

Die einzelnen Messungen zerfallen in solche, die mit den Kohlenspitzen, mit Kupferspitzen und mit den dafür eingeschalteten Widerständen ausgeführt wurden. Diese Beobachtungen wurden in keiner bestimmten Ordnung, sondern durcheinander vorgenommen.

Ich beginne mit den Messungen, wo statt der beiden electrischen Lichter beiderseits gleiche Widerstände eingeschaltet waren, deren beiläufiger Werth in der zweiten Columne der nachfolgenden Uebersicht angegeben ist.

Nr.		I	W	
1	11 S.-E.	3,62 A.	7,82 Ω	+72
2	7	4,76	5,94	32
11	7	4,68	5,66	- 5
12	7	3,95	6,60	+ 2
13	11	3,45	7,32	-10
14	11	3,39	7,44	9
15	11	3,45	7,35	7
18	5	5,63	4,86	4
19	3	7,30	3,75	22
20	2	8,57	3,38	14
23	2	8,93	3,35	6
24	3	7,48	3,77	14
25	4	6,28	4,37	10

Die erste Columne gibt die Ordnungszahl der Beobachtung, die dritte die beobachtete Stromstärke I und die vierte den beobachteten Gesamtwiderstand W . Letzterer muss eine lineare Function der reciproken Stromstärke sein, wenn die electromotorische Kraft der Batterie constant bleibt. Das constante Glied der linearen Function ist gleich dem Widerstande der Leitung von den beiden äquipotentialen Punkten A , B bis zur Messbrücke. Dieser Widerstand war beiläufig 0,89 Ω , sodass das Mittel aus den vorstehenden Zahlen die Formel gibt:

$$W = \frac{22,56}{I} + 0,89.$$

Berechnet man nach dieser Formel die den angegebenen Stromstärken entsprechenden Gesamtwiderstände und zieht die so berechneten Werthe von den beobachteten ab, so erhält man die in der fünften Columnne bemerkten Differenzen in Einheiten der zweiten Decimale.

Was die Beobachtungen mit Kohlenspitzen betrifft, so wurden hierzu dieselben Kohlen von 5 mm Durchmesser wie das erste mal benutzt und folgende Werthe von I und W' erhalten.

Nr.	I	W	W	$2(W - W')$	D
3	3,46 A	2,65 Ω	7,29 Ω	9,28 Ω	32,11 V
4	4,44	1,67	5,95	8,56	38,01
5	4,36	1,53	6,04	9,02	39,33
6	4,71	1,53	5,66	8,26	38,90
7	4,13	1,70	6,34	9,28	38,33
8	3,82	1,81	6,79	9,96	38,05
9	3,60	2,32	7,15	9,66	34,78
10	4,00	2,10	6,62	9,04	36,16
Mittel					36,96

Die vierte Columnne der vorstehenden Tabelle enthält den nach der Formel (1) berechneten Gesamtwiderstand, wie er der beobachteten Stromstärke entsprechen würde; subtrahirt man hiervon den wirklich beobachteten Widerstand und multiplicirt mit 2, so erhält man die Zahlen der fünften Columnne. Diese Zahlen geben schliesslich, mit der Stromstärke multiplicirt (sechste Columnne) die gesuchte electromotorische Gegenkraft des Lichtbogens, welche im Mittel 37,0 V. beträgt.

Das Ergebniss dieses Versuches ist also recht befriedigend und die Uebereinstimmung mit dem Resultate des ersten Versuches, welcher eine electromotorische Gegenkraft von 39 V. ergab, besser, als erwartet werden konnte. Ja, die Uebereinstimmung wird noch grösser, wenn man den ersten Versuch auf dieselbe Weise berechnet, wie es bei dem vorliegenden Versuch geschah, und sich nicht damit begnügt, nur das Mittel der Beobachtungen zur Berechnung der electromotorischen Kraft zu benutzen, was für die Zwecke, welche ich in meiner ersten Abhandlung verfolgte, wohl genügend war. Die genauere Rechnung gibt nämlich für den Gesamtwiderstand die Formel:

$$W = \frac{22,41}{I} + 0,89,$$

und für die 13 Beobachtungen mit den Kohlenlichtern:

<i>I</i>	*7,21	4,27	4,27	4,49	4,27	4,14	4,49	*8,21	4,49	*3,46	4,27	4,27 <i>A</i>
<i>E</i>	31,08	38,24	38,24	36,19	36,30	38,25	36,51	31,53	36,19	51,00	35,70	34,07 <i>V</i>
	Mittel 36,94											

Dieses Mittel stimmt also vollkommen genau mit dem der zweiten Versuchsreihe überein. Würde man bei Bildung des Mittels die drei mit einem Sternchen bezeichneten Beobachtungen nicht berücksichtigen, wie dies in meiner ersten Abhandlung geschah, so würde das Mittel noch immer 36,64 betragen. Die electromotorische Kraft dürfte also für die von mir benutzte Kohle mit 5 mm Durchmesser und bei einer mittleren Stromstärke von 4,3 *A* nahezu 37 Volt betragen.

II. Ich komme nun zu den Beobachtungen mit den Kupferstäben, welche ebenfalls 5 mm Durchmesser hatten. Da nach Edlund's Untersuchungen für Kupfer von vornherein eine kleinere electromotorische Gegenkraft zu erwarten stand, so hoffte ich, dass die Beobachtungen mit den Kupferlichtern leichter auszuführen sein würden, als mit den Kohlenlichtern. Allein es zeigte sich das Gegentheil; es hatte grosse Schwierigkeit, die beiden Kupferlichter gleichzeitig zum ruhigen Brennen zu bringen, sodass im ganzen nur vier solche Beobachtungen angestellt werden konnten.

Diese sind:

Nr.	<i>I</i>	<i>W</i>	<i>W'</i>	2 (<i>W</i> - <i>W'</i>)	<i>D</i>
16	8,89 <i>A</i>	1,69 Ω	3,41 Ω	3,44 Ω	30,58 <i>V</i>
17	8,40	2,23	3,57	2,68	22,50
21	7,48	1,90	3,91	4,02	30,07
22	5,82	2,42	4,76	4,68	27,24
	Mittel 27,60				

Wir erhalten also für die electromotorische Gegenkraft des Kupferbogens den Betrag von 27,6 V., und es ist das Verhältniss dieser Kraft zu der des Kohlenbogens gleich 0,75.

Edlund¹⁾ hat, indem er den Widerstand des Licht-

1) Edlund, Pogg. Ann. 133. p. 353. 1868.

bogens bei verschiedenen Längen mass, folgende electromotorische Gegenkräfte, in willkürlicher Einheit ausgedrückt, erhalten:

$D = 5,15$ harte Kohle,
5,48 Batteriekohle,
4,58 Kupfer,
2,86 Messing mit 37 Proc. Zn,
2,50 Silber mit 10 Proc. Cu,

Das Verhältniss von Kupfer zu Kohle wird also nach Edlund 0,84—0,89, was von dem oben gefundenen Werthe nicht allzusehr abweicht.

III. Edlund¹⁾ hat es bei Besprechung der von mir befolgten Methode als wünschenswerth bezeichnet, dass die electromotorische Gegenkraft für dieselben Kohlenspitzen auch nach seiner ursprünglichen Methode durch Variation der Länge des Lichtbogens ermittelt werde. Eine Differenz in den Resultaten beider Methoden würde nämlich auf einen sogenannten Uebergangswiderstand des Lichtbogens schliessen lassen.

Ich habe deshalb auch solche Versuche ausgeführt und dazu den Strom einer Gramme-Maschine kleinster Gattung, die durch einen einpferdigen Gasmotor in Bewegung gesetzt wird, benutzt. Die Kohlenspitzen wurden durch dieselbe Regulirungsvorrichtung wie früher in constanter Entfernung gehalten, indem eine Linse das Bild des Lichtbogens auf die Wand projecirte. Die Entfernung der Spitzen wurde dagegen meist durch flache Keile bestimmt, die zwischen sie hineingesenkt wurden, und es hatte Prof. F. Exner die Güte, diese Messungen, welche der Natur der Sache nach nicht sehr genau sein können, auszuführen.

Von den beiden Kohlenspitzen führten Drähte zu einem Voltameter, bestehend aus einer Tangentenbussole mit ungefähr 75 Windungen und vorgelegtem grösseren Widerstande. Die Ablesung dieses Instrumentes wurde von Dr. E. Lecher besorgt.

1) Edlund, Wied. Ann. 26. p. 520. 1885.

Die Stromstärke wurde von mir an der schon früher gebrauchten Tangentenbussole gemessen, welche nach der im April 1855 ausgeführten Messung mit einer Dämpfung versehen worden war. Als dämpfende Flüssigkeit wurde Vaselineöl (Paraff. liqu. Pharm. Germ. II) verwandt, auf welches ich durch Prof. S. Exner aufmerksam gemacht worden war, und das sich in der That für Dämpfungszwecke wegen seiner Unveränderlichkeit als vorzüglich erweist.

Zur Aenderung der Stromstärke wurden die beiden früher erwähnten Widerstände aus Neusilberdraht benutzt.

Trotzdem nun alle Sorgfalt angewandt wurde, so stimmen die Beobachtungsreihen von verschiedenen Tagen nicht sehr gut untereinander. Es wurden im ganzen an fünf Tagen zwischen Februar und Juli des Jahres 1886 Messungen ausgeführt, die Resultate der einzelnen Tage schwanken aber zwischen 32 und 36 V. für die Gegenkraft des Kohlenlichtes. Bei dieser geringen Uebereinstimmung will ich daher gar nicht die einzelnen Messungen mittheilen, sondern nur das Resultat aus der Berechnung sämmtlicher brauchbarer Beobachtungen. Die Rechnung geschah mit Hülfe der Methode der kleinsten Quadrate nach der Formel:

$$p = a + bli,$$

wo p der beobachtete Potentialunterschied der beiden Kohlenspitzen in Volt., l deren Entfernung in Millimeter und i die Stromstärke in Ampères bedeutet. Bei Aufstellung dieser Formel ist natürlich angenommen, dass die Constante b unabhängig sei von der Stromstärke. Bei den geringen Aenderungen in der Stromstärke, welche bei vorliegenden Versuchen stattfinden, kann diese Constanz der Grösse b wohl angenommen werden, wenn dies auch nicht mehr für weitere Grenzen der Stromstärke gelten sollte.

Die Constante a ist die gesuchte electromotorische Gegenkraft des Lichtbogens.

Ich bemerke noch, dass bei der Rechnung die Beobachtungen der einzelnen Tage mit Hinweglassung ganz abweichender zuerst in einzelne Gruppen abgetheilt und innerhalb derselben durch Mittelnahme zu Normalbeobachtungen ver-

einigt wurden. Mit diesen Normalörtern wurde erst die Rechnung ausgeführt.

Es wurden nun an den fünf Beobachtungstagen im ganzen 71 Messungen ausgeführt, und von diesen 58 zu 15 Normalbeobachtungen vereinigt. Die Rechnung gab:

$$a = 35,07 \pm 1,34 \text{ V}, \quad b = 1,32 \pm 0,11 \Omega.$$

Es gibt also diese Methode um 2 V weniger, als die frühere. Die Stromstärke ist allerdings nicht ganz die gleiche, ist aber bei der zweiten Methode doch unbedeutend höher (zwischen 4,0 und 5,4 A). Der Abstand der beiden Kohlenspitzen variirte zwischen 0,4 und 2,5 mm.

IV. Nach der zuletzt befolgten Methode von Edlund habe ich die electromotorische Gegenkraft des Lichtbogens auch bei Metallen zu bestimmen versucht. Es fallen diese Versuche der Zeit nach zwischen die früher beschriebenen Messungen an den Kohlenspitzen. Bei den schwerer schmelzbaren Metallen hatte die Anwendung von Edlund's Methode keine besonderen Schwierigkeiten, bei leichter schmelzbaren gelang es mir aber nur, mit Cadmium und Zink brauchbare Resultate zu erhalten. Die Messung der Entfernung der Spitzen ist freilich immer schwierig, da sehr oft der Lichtbogen sich nicht an den äussersten Enden bildet.

An den Ablesungen bei diesen Versuchen betheiligte sich auch Dr. P. Czermak.

Die Ergebnisse der Messungen werde ich in derselben Form wie vorher bei der Kohle wiedergeben. Ich bemerke noch, dass sämmtliche Metalle in Form von Drähten von ebenfalls 5 mm Durchmesser angewandt wurden.

Platin. Es wurden an drei verschiedenen Tagen vier Beobachtungsreihen mit 61 Messungen ausgeführt. Davon wurden 56 zu 15 Normalörtern vereinigt der Rechnung zu Grunde gelegt. Dieselbe gab:

$$a = 27,41 \pm 1,16 \text{ V}, \quad b = 1,49 \pm 0,19 \Omega.$$

Die Stromstärke variirte zwischen 0,3 und 5,5 A, die Entfernung der Spitzen zwischen 0,3 und 3,2 mm. Während der kurzen Dauer der Versuche konnte nur am negativen

Pol eine Längenabnahme des Drahtes constatirt werden, der positive Pol war dagegen der heissere.

Eisen. Zwei Beobachtungsreihen mit 43 Messungen gaben 40 brauchbare Beobachtungen in acht Gruppen eingetheilt. Die Rechnung gab:

$$a = 25,03 \pm 2,16 \text{ V}, \quad b = 0,70 \pm 0,06 \Omega.$$

Die Stromstärke variirte zwischen 2,6 und 5,9 A und Spitzenentfernung zwischen 0,5 und 3,5 mm. Beide Pole brennen ziemlich gleich langsam ab.

Nickel. 21 Beobachtungen an zwei verschiedenen Tagen angestellt, gaben mit Ausschluss von zwei Messungen neun Normalbeobachtungen und das Rechnungsergebnis:

$$a = 26,18 \pm 2,95 \text{ V}, \quad b = 0,77 \pm 0,13 \Omega.$$

Hierbei war die Stromstärke ziemlich constant gleich 4,5 A, während die Entfernung der Spitzen beträchtlich zwischen 1,6 und 7,3 mm variirte. Verkürzung der Drähte durch Abbrennen konnte nicht beobachtet werden, doch glüht der positive Pol sehr stark.

Kupfer. Aus zwei Beobachtungsreihen mit 45 Messungen wurde nur eine Messung ausgeschieden und zehn Normalbeobachtungen gebildet. Diese gaben:

$$23,86 \pm 1,33 \text{ V}, \quad 0,67 \pm 0,04 \Omega.$$

Die Stromstärke war zwischen 4,1 und 5,2 A. Die Spitzenentfernung zwischen 0,6 und 7,0 mm.

Silber. Drei Beobachtungsreihen mit 45 Einzelbeobachtungen gaben mit Hinweglassung dreier Messungen 13 Normalörter und für die Constanten die Werthe:

$$a = 15,23 \pm 0,45 \text{ V}, \quad b = 0,96 \pm 0,06 \Omega.$$

Die Stromstärke variirte zwischen 3,7 und 5,1 A. Die Entfernung der Spitzen zwischen 0,3 und 7,5 mm.

Zink. An zwei verschiedenen Tagen wurden im ganzen 42 Beobachtungen angestellt, von diesen eine verworfen und die übrigen in zehn Gruppen abgetheilt.

$$a = 19,86 \pm 2,27 \text{ V}, \quad b = 0,56 \pm 0,28 \Omega.$$

Die Variationen der Stromstärke lagen zwischen 2,6 und 4,3 A, die der Spitzenentfernung zwischen 0,5 und 4,0 mm. Bei der ersten Versuchsreihe nahm die Drahtlänge, die an beiden Polen 285 mm betrug, am negativen Pol bis auf 256 am positiven Pol bis auf 93 mm ab. Natürlich war der grösste Theil des Drahtes abgeschmolzen, nicht abgebrannt.

Cadmium. Es wurden zwei Versuchsreihen mit 57 Beobachtungen ausgeführt, davon wurden fünf verworfen und die übrigen 52 Beobachtungen zu neun Normalörtern vereinigt. Die Rechnung gab:

$$a = 10,28 \pm 3,38 \text{ V}, \quad b = 2,56 \pm 1,27 \text{ } \Omega.$$

Die Werthe der Stromstärke lagen zwischen 2,5 und 3,5 A, die der Spitzenentfernung zwischen 0,4 und 1,7 mm. Die Längen der Poldrähte waren vor der ersten Versuchsreihe 275 mm, nach derselben 215 und 235 mm.

Dem Vorhergehenden zufolge sehen wir also, dass bei den Metallen der Werth der electromotorischen Gegenkraft des Lichtbogens sehr verschieden ausfällt. Auch lässt sich nicht verkennen, dass dieser Werth für die schwerer schmelzbaren höher ist, wie für die leichter schmelzbaren. Im Einklange damit zeigt die unschmelzbare Kohle den höchsten Werth der Gegenkraft.

Die Uebereinstimmung zwischen Schmelzpunkt und Gegenkraft ist nur für das Silber sehr schlecht, welches seinem Schmelzpunkte zufolge eine viel höhere electromotorische Kraft des Lichtbogens zeigen sollte.

Nachdem aber neuere Untersuchungen¹⁾ lehren, dass diese Gegenkraft auch von der Dicke der angewandten Electroden abhängt, und diese ja bei jedem Metalle verschieden sein kann, so ist es möglich, dass gerade durch die Anwendung gleich dicker Electroden jene Uebereinstimmung zwischen Schmelzpunkt und Gegenkraft verdeckt wird.

Phys. Cabinet der Univ. Wien.

1) S. B. Nebel, Rep. d. Phys. von Exner. 22. p. 527. 1886.