tricitätsconstanten mit den Resultaten anderer Beobachter, so zeigt sich auch hier eine hinreichende Uebereinstimmung; insbesondere wird der grosse Werth, welcher von Cohn und Arons für die Dielectricitätsconstante des Aethylalkohols ermittelt wurde, auch hier gefunden. Da nach der Natur der hier angewandten Methode die Unsicherheit des Resultates gleichzeitig mit wachsender Dielectricitätsconstante zunimmt, so ist die von Cohn und Arons benutzte Methode zur Bestimmung hoher Dielectricitätsconstanten unzweifelhaft der ersteren bezüglich der Schärfe der Bestimmung weit überlegen; trotzdem scheint es nicht ohne Interesse, das von Cohn und Arons gefundene Resultat des grossen Werthes für Alkohol nach einer ganz anderen Methode bestätigt zu sehen. Der nahen Uebereinstimmung des hier gefundenen Mittelwerthes mit dem der älteren Beobachtung ist hierbei aus den schon angegebenen Gründen eine Bedeutung nicht beizulegen.

Jena, August 1889.

II. *Ueber die Electricitätsleitung der Gase;* *von Theodor Homén.*

(Auszug einer ebengenannten Abhandlung Pars III in Acta Societatis Scientiarum Fennicae, 17. 1888.)

(Hierzu Taf. II Fig. 2—6.)

Der Zweck vorliegender Untersuchung ist, den Widerstand eines Gases bei continuirlichem Durchgange der Electricität zu erforschen, vor allem zu untersuchen, ob und wie, in welchen Einheiten dieser Widerstand gemessen werden kann.

In einer früheren Abhandlung¹⁾ ist gezeigt, dass bei Leitung der Electricität durch verdünnte Luft der Widerstand im Luftraume in zwei Theile getheilt werden kann, von welchen der eine Theil dem Abstände zwischen den Electroden proportional, der andere von demselben unabhängig ist. Der erstere Theil wurde dem Widerstande des

---

1) Homén, Wied. Ann. 26. p. 55. 1885.

Gases selbst, der letztere dem speciell von Hittorf¹⁾ und Edlund²⁾ untersuchten Uebergangswiderstand an den Electroden zugeschrieben. Ich fand, dass der Luftwiderstand dem Drucke proportional ist, dass aber der Uebergangswiderstand an den Electroden bei grosser Verdünnung mit dieser schnell wächst.

Die erwähnten Versuche wurden mit Anwendung von Inductionsströmen ausgeführt. Wenn bei zwei verschiedenen Drucken die Galvanometerausschläge des durchgehenden Stromes für zwei gewisse Schlagweiten gleich waren und nun eine Verlängerung der Schlagweite bei diesen Drucken mit resp. a und b Längeneinheiten ganz dieselbe Herabsetzung der Stromstärke verursachte, so wurden die Widerstände der Luftsäulen a und b bei den beiden Drucken einander gleich gesetzt. Auf diese Weise von Druck zu Druck fortgehend, konnte der Widerstand bei den verschiedenen Drucken verglichen und in willkürlicher Einheit gemessen werden. Ich hoffte jetzt mit Anwendung von galvanischen Strömen, wo die Stromstärke dauernd constant ist, diese Verhältnisse näher studiren und den Gaswiderstand rational messen zu können.

Eine Uebersicht der Entladungsversuche mit galvanischen Strömen von Gassiot³⁾, Varley⁴⁾, Hittorf⁵⁾, Warren de la Rue und Hugo Müller⁶⁾ ist in meiner ausführlichen Abhandlung: „Ueber die Electricitätsleitung der Gase“⁷⁾, gegeben. Dasselbst ist auch dargelegt, wie Hittorf und Hertz⁸⁾ nachgewiesen haben, dass, wenn der Wider-

1) Hittorf, Pogg. Ann. 136. p. 1 u. 197. 1869; Wied. Ann. 7. p. 553. 1879.

2) Edlund, K. Sv. Vet. Akad. Handl. 20. p. 3. 1882; Wied. Ann. 15. p. 514. 1882.

3) Gassiot, Phil. Trans. 101. p. 32. 1844; Pogg. Ann. 119. p. 131. 1863.

4) Varley, Proc. Roy. Soc. 17. p. 236. 1871.

5) Hittorf, Wied. Ann. 7. p. 553. 1879; 20. p. 705. 1884 u. 21. p. 90. 1884.

6) Warren de la Rue u. Hugo Müller, Phil. Trans. 169. p. 155. 1878; 171. p. 65. 1879.

7) Th. Homén, Acta Soc. Sc. Fennicae. 16. p. 25. 1886.

8) Hertz, Wied. Ann. 19. p. 782. 1883.

stand in der Leitungsbahn nicht allzu gross ist, die Entladung einer grossen galvanischen Säule durch eine Geissler'sche Röhre wirklich continuirlich ist. Weiter zeigte sich bei den obenerwähnten Untersuchungen von Varley, Hittorf, Warren de la Rue und Hugo Müller die Potentialdifferenz zwischen den Electroden einer Geissler'schen Röhre, durch welche der galvanische Strom geleitet wurde, constant, von der Stärke des Stromes unabhängig. Dies wollte ich näher prüfen und sowohl den Uebergangswiderstand an den Electroden, als den Gaswiderstand selbst, beide voneinander wohl getrennt, bei verschiedenen Drucken untersuchen und messen.

§ 1. Beschreibung der Apparate.

Als Electricitätsquelle diente eine galvanische Batterie von 1456 Bunsen'schen Chromsäureelementen. Diese waren auf sieben grossen hölzernen Gestellen zu 14 Tauchbatterien aufgestellt. Die Gefässe (aus Glas) zur Aufnahme der Lösung waren 25 cm hoch und von etwas über 5 cm innerem Durchmesser. Die Kohlenplatten, aus möglichst fester Retortenkohle geschliffen, waren 10,5 cm lang, 2 cm breit, die Zinkplatten, gut amalgamirt, zum grössten Theil aber mit Paraffin überzogen, 10 cm lang.

Die Kohlen und Zinke je zweier aufeinander folgender Elemente waren mit ca. 12 cm langen Kupferstreifen aneinander gelöthet (die Enden der Kohlenplatten waren galvanisch verkupfert) und über horizontale Glasröhren gehängt, welche wie die Sprossen einer Leiter in einen hölzernen Rahmen eingepasst waren. Dieser Rahmen konnte mit einer Hebelvorrichtung gehoben und gesenkt, die Platten also schnell und bequem in die Säure getaucht oder aus derselben gehoben werden. Zu jedem Rahmen gehörten 104 ($= 13 \times 8$) Elemente. Die Isolation war bei der erwähnten Vorrichtung sehr vollständig. Die Glasröhren und Kupferstreifen, sowie der untere Theil der Aussenseite der Gefässe waren mit Asphaltlack gefirnisst. Die Batteriegestelle hatten Glasfüsse. Alles Glas war Kaliglas. Alle Contacte wurden durch Quecksilber in Ebonitnäpfchen vermittelt.

Bei der Anwendung zeigte sich, dass die Batterie sehr

gut functionirte. Trotz vieler Benutzung ist die electromotorische Kraft kaum vermindert. Sie beträgt etwa 2 Volt in jedem Element, wird jedoch bei längerer ununterbrochener Anwendung ein wenig vermindert. Ein von der Kleinheit der Zinkoberfläche herrührender Nachtheil bei den Elementen ist, dass der Widerstand nach längerem Gebrauch sehr gross wird. Dies war jedoch bei meinen Versuchen, wo immer grosse Rheostatenwiderstände angewandt wurden, von kleiner Bedeutung.

In den Entladungsröhren aus Glas, 1,6 cm im Durchmesser, wollte ich *den Abstand zwischen den Electroden verändern können, ohne den Druck des Gases zu verändern*. Bei früheren Untersuchungen¹⁾ hatte ich dies dadurch erreicht, dass die drahtförmigen Electroden durch zwei an den Enden der Röhre, zwischen zwei Korken liegende Oelräume in die Röhre eingeschoben werden konnten. Jetzt wollte ich das Oel vermeiden. Ich hatte daher (s. Fig. 2), die Anode (*a*) mit einem spiralförmigen, überspannenen, weichen Kupferdraht (*b*) verbunden, durch welchen der Strom eingeleitet wurde. Um die Anode war ein cylindrisches Ebonitstückchen (*d*) von einem etwas kleineren Durchmesser als der innere Durchmesser der Röhre angebracht. In die Oberfläche des Ebonitcylinders war ein weiches Eisenstück versenkt. Wenn die Seite mit dem Eisenstück nach oben gerichtet war, konnte mit einem Hufeisenmagnet der ganze Cylinder mit der Anode von aussen hin und her geschoben werden, ohne dass man den Luftdruck im mindesten veränderte. An zweien an die Röhre angeklebten Papierscalen konnte der Abstand zwischen den Electroden genau abgelesen werden. Aus später angegebenen Gründen wurden zwei Entladungsröhren mit ungleichen Electroden gleichzeitig in Verbindung mit der Luftpumpe gesetzt. In der einen bestanden die Electroden aus Aluminiumdraht, dessen vorderer Theil spiralförmig zu einer Scheibe (*a* und *c*) aufgerollt war. Der hintere, gerade Theil des Electroden drahtes war von einem feinen Glasrohr umgeben, sodass die Elec-

---

1) Homén, Elektriska motståndet hos förtunnad luft. Helsingfors 1883; Wied. Ann. 26. p. 55. 1885.

tricität ausschliesslich von dem plattenförmigen, vorderen Theil der Electroden ausströmte. In dem zweiten Rohr bestanden die Electroden aus zum grössten Theil von umhüllenden Glasröhren bedeckten, 0,7 mm dicken Platindrähten. Nur 1 mm der Drahtenden war unbedeckt.

Die Luftpumpe war eine Töpler'sche Quecksilberpumpe von Bessel-Hagen'scher Construction.¹⁾ Hähne wurden nicht angewandt. Um Luft oder ein anderes Gas in die Pumpe einführen zu können, war eine von Bessel-Hagen in oben citirter Abhandlung beschriebene specielle Vorrichtung mit der Rohrleitung verbunden. Drucke unter 1,8 mm in der Pumpe konnten auf die von Bessel-Hagen angegebene Weise sehr genau bestimmt werden. Höhere Drucke wurden durch Ablesen des Quecksilberstandes in dem barometerähnlichen, 7,8 mm weiten Schenkelrohr der oben erwähnten Gaseinführungsvorrichtung bestimmt.

Als Rheostatenwiderstand wurde eine Lösung von ein Theil Cadmiumjodid in zehn Theilen Amylalkohol angewandt. Dieselbe wird von Hittorf²⁾ besonders empfohlen, wenn es sich darum handelt, sehr grosse Widerstände hervorzubringen. Auch ich fand die Lösung ganz vortrefflich. Ich gebrauchte fünf Glasröhren, welche im Folgenden mit I, II, III, IV und V bezeichnet werden, von etwa 85 cm Länge und resp. 28,1, 18,1; 11,0, 7,1 und 4,6 mm Durchmesser. Als Electroden dienten Cadmiumplatten von beinahe demselben Durchmesser wie die Röhren. Der Widerstand in den Röhren betrug bei den unten beschriebenen Versuchen etwa 192 000; 472 000, 1 240 000; 4 320 000 und 10 370 000 Ohm.

Um die Continuirlichkeit des Stromes zu prüfen, konnte ein Telephon in die Leitung in unmittelbarer Nähe der Entladungsröhre eingeführt werden.

---

1) Bessel-Hagen, Wied. Ann. 12. p. 425. 1881.

2) Hittorf, Pogg. Ann. 106. p. 554. 1859.

§ 2. Anordnung der Versuche.

Bei der Untersuchung galt es zunächst die Potentialdifferenz zwischen den Electroden der Entladungsröhre bei durchgehendem galvanischen Strome zu bestimmen.

Dies war bei früheren Versuchen¹⁾ so geschehen, dass die Stärke des durchgehenden Stromes (i), der Widerstand in der Leitung ausserhalb der Entladungsröhre (R) und die electromotorische Kraft der Batterie (E) gemessen wurden und so die Potentialdifferenz zwischen den Electroden (r) nach der Formel $i = (E - r)/R$ oder $r = E - iR$ berechnet.

Bei den hier unten beschriebenen Versuchen²⁾ wollte ich die Potentialdifferenz zwischen den Electroden der Entladungsröhre bestimmen können, ohne den Widerstand und die electromotorische Kraft der Batterie, welche schwer zu messen sind, bestimmen zu brauchen.

Dies gelang mir auf folgende Weise durch Benutzung derselben Methode, welche in dem Voltmeter zur Anwendung kommt. Die Quecksilbernäpfchen, von welchen die Electrodenröhre in die Entladungsröhren hineingingen, wurden durch eine Brücke von sehr grossem bekannten Widerstande w miteinander verbunden und die Stärke s des Zweigstromes in der Brücke beobachtet. Die gesuchte Potentialdifferenz r zwischen den Electroden, den Endpunkten dieser Brücke, ist also gleich ws .

In die Brücke wurde auf jeder Seite eines Galvanometers ein grosser Widerstand, ein Rohr mit der früher beschriebenen Lösung von Cadmiumjodid eingeschaltet. Die Röhren waren gegen 1 m lang, 5 mm weit, und der Widerstand betrug in beiden zusammen 26 000 000 Ohm. Das Galvanometer mit Glockenmagnet und grosser Dämpfung hatte 30000 Drahtwindungen, war aber mit einem Nebenschluss versehen, wodurch die Empfindlichkeit vermindert werden konnte.

Die Intensität i des Stromes in der Entladungsröhre ist gleich der Stärke des unverzweigten Stromes weniger der Stärke s des Zweigstromes in der Brücke. In die

1) Hönén, Abth. I und II meiner oben erwähnten Publicationen in Acta Soc. Sc. Fennicae. 16. u. 17. 1886.

2) Hönén, Abth. III der erwähnten Publicationen.

unverzweigte Leitung war ein Galvanometer eingeschaltet. Auch dieses hatte einen Glockenmagnet und grosse Dämpfung. Die Drahtwindungen waren aber nur 200, und bei stärkeren Strömen musste noch eine Brücke vor dem Galvanometer angewandt werden.

Auf Grund der grossen Dämpfung in den Galvanometern stellten sich die Nadeln bei Veränderung der Stromstärke sehr schnell in die neue Ruhelage ein. Hierdurch konnte die Stromstärke beinahe sofort nach der Schliessung des Stromes gemessen werden, was, um eine durch einen dauernden Strom verursachte starke Erhitzung des Gases und der Electroden zu vermeiden, bisweilen nothwendig war. Nur hierdurch konnten die Beobachtungen auch bei höheren Drucken ausgeführt werden. Weiter konnte die Stromstärke in dem Falle, dass Schwankungen derselben eintraten, in jedem einzelnen Augenblicke gemessen werden.

Die Röhren mit den Scalen waren auf demselben Stativ so gestellt, dass man, ohne den Kopf zu bewegen, mit dem einen Auge in den einen, mit dem anderen in den anderen hineinblicken konnte. Die Beobachtungen der beiden Ströme (in der unverzweigten Leitung und in der Brücke zwischen den Electroden) konnten also von einem Beobachter sehr bequem so gut wie gleichzeitig gemacht werden.

Alle Ausschläge für Stromstärke wurden auf Amperes (10^{-6} Amp.) reducirt. Die Reductionszahl wurde durch Versuche mit einem Normaldaniell bestimmt. Der Einfluss der Stromwindungen in dem einen Galvanometer auf die Ausschläge des anderen war sehr klein und stieg höchstens bis auf 0,3 Scalentheile. Correctionen hierfür sind doch eingeführt.

§ 3. Beobachtungsergebnisse.

Es wurden bei verschiedenen Drucken mit den beiden Entladungsröhren Beobachtungsreihen gemacht, in welchen sowohl der Abstand zwischen den Electroden, als auch die Intensität des Entladungsstromes variirt wurde; jenes um den Luftwiderstand vom Uebergangswiderstande an den Electroden trennen zu können, dieses um zu prüfen, ob die Potentialdifferenz zwischen den Electroden constant ist, oder ob und wie sie mit der Stromstärke wächst. Die Stromstärke

wurde sowohl durch Veränderung der electromotorischen Kraft, der Zahl der Elemente der Batterie, als auch durch Veränderung des Rheostatenwiderstandes in der unverzweigten Leitung variiert. Auf diese Weise wurden Versuche bei 0,090, 0,125, 0,30, 1,73, 6,0, 11,6, 20,7, 40,7 und 80,9 mm Druck gemacht.

Bei den drei niedrigsten Drucken wurden die Beobachtungen wiederholt. Die Mittel derselben sind in den Tabellen angeführt. Bei den übrigen Drucken wurden der Controle wegen nur einzelne von den Beobachtungen wiederholt, welche jedoch mit denen der ersten Beobachtungsreihe gut übereinstimmen. Bei diesen Drucken sind die hintereinander gemachten Beobachtungen unverändert in den Tabellen angeführt. Die Ordnung der Beobachtungen war die, dass bei einer gewissen, zuerst bei der kleinsten Zahl der Elemente, die Beobachtungen für verschiedene Abstände zwischen den Elementen angestellt wurden, dann die Zahl der Elemente vergrößert, diese Reihe wiederholt wurde und so weiter.

In den Tabellen bezeichnet i die Stromstärke in der Entladungsröhre in 10^{-6} Ampères, r die Potentialdifferenz zwischen den Electroden in Volts.

Spannkraft der Luft 0,088—0,092 mm.

Aluminiumelectroden.

Zahl der Elem.	Rheost.-Widerstand	4 cm Abst. zw. d. Electr.		10 cm Abst. zw. d. Electr.		16 cm Abst. zw. d. Electr.	
		i	r	i	r	i	r
7 . 104	II	46	1882	35	1287	0	—
8 . 104	„	95	1443	89	1446	71	1459
9 . 104	„	154	1607	138	1620	118	1620
10 . 104	„	218	1755	206	1760	188	1768
11 . 104	„	306	1893	280	1906	265	1911
12 . 104	„	450	2025	420	2041	400	2046
„	I	640	2116	615	2122	570	2130

Platinelectroden.

12 . 104	II	37	2231	31	2231	24	2239
„	I	41	2246	34	2241	32	2244

Spannkraft der Luft 0,125 mm.

Aluminiumelectroden.

Zahl der Elem.	Rheost.- Wider- stand	4 cm		10 cm		16 cm	
		Abst. zw. d. Electr.		Abst. zw. d. Electr.		Abst. zw. d. Electr.	
		<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>
5. 104	II	77	907	60	918	40	920
6. 104	"	146	1063	119	1076	106	1082
7. 104	"	224	1217	211	1217	190	1230
8. 104	"	327	1325	304	1347	278	1365
9. 104	"	430	1490	405	1495	380	1503
10. 104	"	558	1622	522	1635	500	1635
11. 104	"	678	1739	650	1755	620	1768
12. 104	"	842	1867	802	1872	765	1890
"	I	1052	2049	1010	2059	982	2070

Platinelectroden.

12. 104	IV	30	1872	26	1903	19	1924
11. 104	II	44	2054	40	2054	33	2067
12. 104	II	55	2249	40	2257	39	2262
12. 104	I	55	2278	50	2278	45	1183

Spannkraft der Luft 0,30 mm.

Aluminiumelectroden.

Zahl der Elem.	Rheost.- Wider- stand	4 cm		10 cm		16 cm	
		Abst. zw. d. Electr.		Abst. zw. d. Electr.		Abst. zw. d. Electr.	
		<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>
4. 104	II	292	582	204	640	—	—
5. 104	"	610	637	518	681	342	744
6. 104	"	958	676	825	728	709	785
7. 104	"	1280	707	1180	759	1064	824
8. 104	"	1590	736	1504	780	1440	858
9. 104	"	1930	759	1802	803	1705	889
10. 104	"	2295	780	2170	832	2067	894
11. 104	"	2608	809	2485	855	2361	918
12. 104	"	2910	835	2773	884	2671	941
10. 104	I	4595	910	4360	954	4025	1009
12. 104	"	5850	970	5580	1014	5280	1076

Platinelectroden.

5. 104	II	83,6	894	—	—	—	—
6. 104	"	103	1069	66	1087	0	—
7. 104	"	85,4	1264	67	1269	52	1274
8. 104	"	114	1438	92,7	1443	59,6	1456
9. 104	"	142	1586	118,2	1612	107,5	1625
10. 104	"	148	1763	132	1786	128,4	1789
11. 104	"	177	1942	160	1955	146	1966
12. 104	"	213	2116	187	2129	178	2145
"	I	230	2210	252	2200	189	2218

Spannkraft der Luft 1,73 mm.

Aluminiumelectroden.

Zahl der Elem.	Rheost.-Widerstand	4 cm		10 cm		16 cm	
		Abst. zw. d. Electr.		Abst. zw. d. Electr.		Abst. zw. d. Electr.	
		<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>
4. 104	II	490	494	—	—	—	—
5. 104	„	920	494	530	689	—	—
6. 104	„	1350	494	955	694	—	—
7. 104	„	1796	489	1370	689	760	978
8. 104	„	2204	484	1768	689	1114	988
9. 104	„	2600	486	2176	681	1484	1006
10. 104	„	2996	486	2537	728	1834	1006
11. 104	„	3339	491	2874	715	2109	1014
12. 104	„	3749	491	3232	715	2583	1006
8. 104	I	4793	497	3778	723	2570	1009
10. 104	„	6536	491	5390	731	4202	1009
12. 104	„	8168	499	6917	759	5730	1011

Platinelectroden a.

4. 104	II	—	—	46	725	—	—
5. 104	„	303	785	166	853	—	—
6. 104	„	435	897	289	959	131	1017
7. 104	„	—	—	385	1099	234	1162
8. 104	„	655	1123	540	1217	330	1310
9. 104	„	790	1212	665	1321	441	1451
10. 104	„	1017	1310	795	1427	574	1550
11. 104	„	1425	1310	909	1544	655	1674
12. 104	„	1382	1508	1037	1685	760	1807

Platinelectroden b.

4. 104	II	380	546	—	—	—	—
6. 104	„	1215	546	835	749	—	—
7. 104	„	1615	567	—	—	—	—
8. 104	„	1858	577	1507	772	1031	975
12. 104	I	—	—	5047	1048	—	—

Bei den zwei niedrigsten Drucken wächst, wie ersichtlich, in beiden Röhren die Potentialdifferenz r zwischen den Electroden stark mit dem Entladungsstrom i , kaum merkbar dagegen mit dem Abstände zwischen den Electroden. Bei den zwei höheren Drucken wächst r immer weniger mit der Stromstärke, im Rohr mit den Aluminiumelectroden ist sie schon bei 1,73 mm Druck beinahe constant, wächst dagegen mehr mit der Schlagweite. Dies beobachtet man am besten bei der graphischen Darstellung der Resultate Fig. 3. Daraus ersieht man auch, wie der Widerstand im Rohre mit den Platinelectroden viel grösser ist als im Rohre mit den Aluminiumelectroden.

Die Lichterscheinungen waren bei diesen, wie bei den folgenden höheren Drucken sehr intensiv, sogar am hellen Tage sehr deutlich. Sie zeigten die Gestalt einer sogenannten Glimmentladung, bestanden also aus einem von der Kathode ausstrahlenden allmählich schwächer werdenden Kathodenlichte und einem hellleuchtenden, schön geschichteten röthlichen positiven Lichte. Zwischen ihnen war der dunkle Raum. Bei den zwei niedrigsten Drucken hatte das Kathodenlicht eine Ausdehnung von etwa 12 cm, bei den zwei höheren von nur etwa 4 und 1 cm. Das positive Licht dagegen erstreckte sich viel weiter, näher an die Kathode bei den höheren Drucken, als bei den niedrigsten. *Ferner zieht sich bei diesen vier Drucken das positive Licht weiter von der Kathode zurück, wenn die Stromstärke vergrößert wird.* Dagegen behält das positive Licht seinen Platz unverändert, wenn die Anode vorwärts oder rückwärts geschoben wird. Das positive Licht folgt also nicht mit, wenn die Anode von der Kathode z. B. entfernt wird, (es treten nur neue Schichten an der Anode hervor) rückt vielmehr näher an die Kathode in dem Maasse, als die Stromstärke hierbei vermindert wird.

Bei dem Druck von 1,73 mm ist eine Eigenthümlichkeit zu erwähnen. Im Rohre mit den Platinelectroden zeigten sich zwei deutlich verschiedene Formen des negativen Lichtes, welche verschiedenen Werthen des Uebergangswiderstandes entsprechen. Bei der gewöhnlichen Form, welche den Beobachtungen in der Tabelle a entspricht, war die Kathodenspitze von einer kleinen Lichtkugel umgeben, bei der anderen Form, welche den Beobachtungen in der Tabelle b entspricht, hatte das negative Licht eine viel grössere Ausdehnung. Es erfüllte die ganze Röhrenweite und streckte sich ungefähr 2 cm hinter die Kathode und ein wenig auf die Vorderseite derselben. Als dieses Licht auftrat, war der Widerstand gleich dem im Rohre mit den Aluminiumelectroden.

Alles dies gilt von den Lichterscheinungen bei continuirlichem Strome. Wenn die Entladung intermittirend war, was bei Anwendung der grossen Rheostatenwiderstände V oder IV der Fall eintreten konnte, und wobei das Telephon

tönte, waren die Lichterscheinungen unruhiger, veränderlicher und von äusseren Verhältnissen sehr abhängig. Wenn man z. B. den Finger der Röhre näherte, veränderte sich das Licht bedeutend, während bei continuirlichem Strome das Licht ganz unempfindlich für das Annähern eines Leiters war.

Spannkraft der Luft 6,0 mm.

Aluminiumelectroden.

Zahl der Elem.	Rheost.-Widerstand	1 cm		4 cm		10 cm		16 cm	
		Abst. zw. d. Electr.		Abst. zw. d. Electr.		Abst. zw. d. Electr.		Abst. zw. d. Electr.	
		<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>
5. 104	II	1207	325	896	460	—	—	—	—
6. 104	"	—	—	1338	460	—	—	—	—
7. 104	"	2068	328	1805	460	1018	809	—	—
8. 104	"	—	—	2205	463	1368	811	—	—
9. 104	"	—	—	2543	447	1739	832	906	1204
10. 104	"	3191	330	2890	458	2052	829	0	—
11. 104	"	—	—	3285	476	2135	1004	1056	1485
12. 104	"	3968	328	3672	466	2478	1032	1330	1550
10. 104	I	—	—	6420	484	3681	1058	0	—
12. 104	"	8754	335	8030	486	5304	1053	2586	1656

Platinelectroden.

Zahl der Elem.	Rheost.-Widerstand	4 cm		10 cm		16 cm	
		<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>
4. 104	II	280	546	—	—	—	—
5. 104	"	495	676	175	848	—	—
6. 104	"	730	764	248	954	—	—
7. 104	"	908	842	436	1050	160	1214
8. 104	"	1150	910	722	1134	—	—
9. 104	"	1338	970	480	1253	324	1352
10. 104	"	1562	1066	892	1214	452	1453
11. 104	"	1758	1147	1118	1290	520	1560
12. 104	"	1937	1261	800	1427	580	1768
"	I	7456	619	975	1474	562	1986
				1100	1615	770	2080

Die Potentialdifferenz *r* ist, wie ersichtlich, constant im Rohre mit den Aluminiumelectroden, sie nimmt zu bei dem mit Platinelectroden mit der Stromstärke und wächst dabei und den folgenden höheren Drucken immer mehr mit der Schlagweite.

Die Lichterscheinungen bilden bei diesem Druck eine Uebergangsform zu denen bei den höheren Spannungen, wo das positive Licht, vom Abstände zwischen den Electroden unabhängig, nur bei grosser Stromstärke auftritt. Hier trat das Licht nur bei grösseren Schlagweiten, sowie bei den niedrigeren Drucken, für diese Schlagweiten aber nur bei grösserer Stromstärke, als bei den höheren Spannungen auf. Die punktirte Linie in den obigen Tabellen bezeichnet, bei welcher Stromstärke das positive Licht aufzutreten begann. Der Widerstand im Entladungsrohr nahm dabei bedeutend zu, wie aus den Beobachtungen ersichtlich ist.

Im Rohre mit den Platinelectroden konnte bei 10 cm Schlagweite das positive Licht bei derselben Zahl der Elemente bisweilen auftreten, bisweilen nicht. Die beim Auftreten des positiven Lichtes erhaltenen Beobachtungen sind in der Tabelle ein wenig rechts von der Reihe geschrieben.

Das positive Licht hatte ganz dasselbe Aussehen in beiden Röhren, war ungeschichtet, leuchtete hell und erfüllte die ganze Weite der Röhre. Im Rohre mit Platinelectroden behielt die scharf begrenzte Vorderfläche des Lichtes ziemlich constant einen Abstand von 5 bis 5,5 cm von der Kathode. Im Rohre mit Aluminiumelectroden, wo die Stromstärke grösser war, konnte man, im Gegensatz zu den Verhältnissen bei den niedrigeren Drucken, beobachten, *dass sich das positive Licht bei Vergrösserung der Stromstärke bis näher an die Kathode erstreckte.* Von ungefähr 7 cm bei kleinerer Stromstärke verminderte sich der Abstand zwischen der Kathode und dem positiven Lichte zu nur 4 cm bei grösserer Stromstärke. Der Grund zu diesen Verhältnissen liegt wohl darin, dass bei den niedrigeren Drucken das Kathodenlicht stark ausgebildet ist, bei wachsender Stromstärke sich mit Gewalt ausdehnt und das positive Licht zurücktreibt, während bei den höheren das Kathodenlicht ganz klein ist, wodurch bei wachsender Stromstärke das positive Licht sich frei ausdehnen kann.

Schon bei diesem Druck, und noch mehr bei den höheren, musste man, um eine Entladung überhaupt hervorzu- bringen, den Abstand zwischen den Electroden zuerst ziemlich klein nehmen und dann, nachdem die Entladung sich

eingesetzt hatte, die Anode mit dem Hufeisenmagnet schnell auf den gewünschten Abstand von der Kathode stellen. Auch auf diese Weise erlischt indess die Entladung, besonders in der Röhre mit Aluminiumelectroden, schon ehe diejenige Schlagweite erreicht wird, für welche die Potentialdifferenz im Entladungsrohr soviel Volts, wie die electromotorische Kraft der Batterie beträgt. Es wird also, nicht nur um eine Entladung einzuleiten, sondern auch um sie andauern zu lassen, eine etwas grössere electromotorische Kraft, als die theoretisch nothwendige, erforderlich sein.

Spannkraft der Luft 11,6 mm.

Aluminiumelectroden.

Zahl der Elem.	Rheost. Widerstand	1 cm Abst. zw. d. Electr.		4 cm Abst. zw. d. Electr.		7 cm Abst. zw. d. Electr.		10cm Abst. zw. d. Electr.		13cm Abst. zw. d. Electr.	
		<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>
6. 104	II	1410	400	—	—	—	—	—	—	—	—
7. 104	"	1802	398	1332	637	—	—	—	—	—	—
8. 104	"	2183	398	1612	655	975	1001	—	—	—	—
9. 104	"	2572	398	1958	650	1328	1001	—	—	—	—
10. 104	"	2922	406	2397	655	1620	975	—	—	—	—
11. 104	"	3236	408	2707	655	1927	1017	1219	1352	—	—
12. 104	"	3623	411	3061	663	2306	1030	1370	1433	—	—
10. 104	I	6335	408	5037	666	—	—	—	—	—	—
12. 104	"	7896	408	6741	663	4965	1014	3146	1433	1490	1791
"	A	—	—	27000	655	19051	1006	11167	1485	2885	1890

Platinelectroden.

Zahl der Elem.	Rheost. Widerstand	1 cm		4 cm		7 cm		10 cm		13 cm		16 cm	
		<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>
3. 104	II	140	411	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4. 104	"	572	463	262	585	—	—	—	—	—	—	—	—
5. 104	"	845	515	500	627	190	806	—	—	—	—	—	—
6. 104	"	1147	556	759	725	398	897	—	—	—	—	—	—
8. 104	"	1728	642	1518	861	800	1063	430	1264	—	—	—	—
10. 104	"	2385	720	1886	949	1227	1230	763	1456	375	1654	102	1794
12. 104	"	3043	767	2478	998	1774	1344	1147	1633	691	1890	343	2064
"	I	—	—	6168	855	3160	1511	1703	1830	988	2002	438	2135
"	A	—	—	26200	546	19963	983	10753	1479	2415	2074	720	2205

Die Potentialdifferenz ist zwischen den Aluminiumelectroden constant, zwischen den Platinelectroden mit der Stromstärke zunehmend.

Der neue, bei diesen und den höheren Drucken angewandte Widerstand A bestand aus fünf Neusilberdrähten und betrug 37400 Ohm.

Die Lichterscheinung war ziemlich gleich der bei 6,0 mm Druck, nur dass das positive Licht erst bei noch grösserer Stromstärke auftrat, als der Widerstand A angewandt wurde. Es war ungeschichtet, erfüllte die ganze Weite der Röhren und näherte sich in beiden Röhren bei zunehmender Stromstärke der Kathode von 4 und 5 bis zu 2 cm Entfernung. Bei 13 cm Schlagweite trat bei der Aluminiumanode eine 1 cm lange, bei der Platinanode eine 3 cm lange Säule des positiven Lichtes auf. Die punktirte Linie in den Tabellen bezeichnet, wie früher, bei welcher Stromstärke das positive Licht aufzutreten begann.

Spannkraft der Luft 20,7 mm.

Aluminiumelectroden.

Zahl der Elem.	Rheost. Widerstand	1 cm		4 cm		7 cm		10 cm	
		Abst. zw. d. Electr.		Abst. zw. d. Electr.		Abst. zw. d. Electr.		Abst. zw. d. Electr.	
		<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>
7.104	II	1985	485	—	—	—	—	—	—
8.104	"	2440	480	1392	940	—	—	—	—
9.104	"	3004	500	1850	962	—	—	—	—
10.104	"	3422	502	2290	957	1015	1505	—	—
11.104	"	3868	490	2770	957	1407	1537	—	—
12.104	"	4296	480	3177	982	1844	1537	—	—
13.104	"	4670	502	3628	980	2135	1550	—	—
14.104	"	5237	480	4041	980	2515	1562	1080	2212
10.104	I	7915	495	5323	980	—	—	—	—
12.104	"	9908	495	7534	937	4186	1540	—	—
14.104	"	11749	517	9595	920	6095	1505	2736	2142
"	A			32268	800	24942	1417	10050	2030

Platinelectroden.

Zahl d. Elem.	Rheost. Widerst.	1 cm		4 cm		7 cm		10 cm		13 cm	
		<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>
4.104	II	554	550	—	—	—	—	—	—	—	—
6.104	"	1490	550	368	1002	—	—	—	—	—	—
8.104	"	2330	547	1256	1007	205	1455	—	—	—	—
10.104	"	3305	535	2217	982	800	1607	—	—	—	—
12.104	"	4199	535	3128	992	1673	1587	347	2137	—	—
14.104	"	5020	522	3910	992	2511	1555	1030	2180	175	2572
12.104	I	9740	495	7220	955	4320	1502	—	—	—	—
41.104	"	12000	445	10030	955	6970	1370	3085	2058	180	2652
"	A			35000	640	25000	1097	4465	2250	126	2607

Die Potentialdifferenz r zwischen den Electroden ist constant und gleich in beiden Röhren.

Der Widerstand in den Rheostatenröhren I, II, III, IV und V betrug bei diesen und den folgenden Versuchen 166 000, 430 000, 1 060 000, 4 180 000 und 8 690 000 Ohm, und in der Brücke zwischen den Electroden zusammen 25 000 000 Ohm. Der Widerstand A betrug wie früher 37000 Ohm.

Das positive Licht trat nur bei allergrösster Stromstärke auf, bei den Versuchen mit dem Widerstande A . Es erstreckte sich in beiden Röhren bis 1 oder 1,5 cm Abstand von der Kathode, erlosch aber, wenn bei Vergrösserung der Schlagweite die Stromstärke zu klein wurde, im Rohre mit Aluminiumelectroden, also bei ungefähr 10,5 cm Schlagweite und 9000×10^{-6} Ampère Stromstärke, im Rohre mit Platinelectroden schon zwischen 7 und 10 cm Schlagweite bei etwa 10000×10^{-6} Ampère. Bei 10 cm Schlagweite zwischen den Aluminiumelectroden und 7 cm zwischen den Platinelectroden war das positive Licht in der Mitte abgebrochen, sodass es aus zwei gleichen Theilen oder Schichten bestand. Bei kleinerer Schlagweite erfüllte das positive Licht die ganze Röhrenweite.

Wenn das eigentliche positive Licht nicht erschien, waren beide Electroden mit dünnen Lichthüllen bedeckt.

Spannkraft der Luft 40,7 mm.

Aluminiumelectroden.

Zahl der Elem.	Rheost.-Widerstand	1 cm Abst. zw. d. Electr.		2 cm Abst. zw. d. Electr.		3 cm Abst. zw. d. Electr.		4 cm Abst. zw. d. Electr.		6 cm Abst. zw. d. Electr.	
		i	r	i	r	i	r	i	r	i	r
9.104	II	2545	590	—	—	—	—	—	—	—	—
10.104	„	3050	592	2337	865	1742	1173	—	—	—	—
11.104	„	3600	580	—	—	—	—	1419	1483	—	—
12.104	„	4112	597	3472	800	2835	1093	2084	1405	—	—
13.104	„	4510	602	—	—	—	—	2420	1430	—	—
14.104	„	4885	575	4265	808	3608	1095	2883	1403	1510	2005
„	I	11240	610	10010	788	8580	1070	7120	1335	3765	1975
„	A					30000	875	27000	1085	15000	1750

Platinelectroden.

Zahl der Elem.	Rheost.- Wider- stand	1 cm		4 cm		7 cm	
		Abst. zw. d. Electr.		Abst. zw. d. Electr.		Abst. zw. d. Electr.	
		<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>
6. 104	II	1059	612	—	—	—	—
7. 104	"	1508	702	—	—	—	—
8. 104	"	2100	660	259	1495	—	—
9. 104	"	2532	660	529	1527	—	—
10. 104	"	3012	660	1045	1482	—	—
11. 104	"	3420	675	1505	1495	—	—
12. 104	"	3780	675	2162	1390	115	2227
13. 104	"	4160	725	2440	1450	336	2350
14. 104	"	4610	730	2870	1475	785	2350
"	I	11400	700	6860	1355	1740	2375
"	A			30500	850	3520	2442

Die Potentialdifferenz r ist constant und gleich in beiden Röhren.

Dass bei diesem wie bei dem folgenden 80,9 mm hohem Druck die Beobachtungsreihen nicht so regelmässig sind, wie bei den niedrigeren Drucken, kann zum Theil auf der grösseren Erhitzung des Gases bei der Entladung beruhen, zum Theil auch darauf, dass Fehler bei der Einstellung der Electroden bei diesen Drucken, wo der Widerstand einer 1 mm langen Luftsäule schon bedeutend ist, auf die Resultate einwirken können.

Die Lichterscheinung war ganz gleich der bei 20,7 mm Druck, mit Ausnahme, dass das positive Licht nicht die ganze Röhrenweite erfüllte. Bei 6 und 7 cm Schlagweite war es in zwei Theile getheilt, erlosch aber im Rohr mit Platinelectroden bei 7 cm Schlagweite. Für 1 cm Schlagweite wurden hier, wie bei 20,7 mm Druck, keine Versuche mit Anwendung des Widerstandes A gemacht. Schon bei 4 cm Schlagweite wurde nämlich die Erhitzung des Gases so stark, dass die auf die Aussenseite der Röhren angeklebten Scalenpapierstreifen bei Andauern des Stromes versengt wurden. Bei 1 cm Schlagweite würde die Stromstärke und Erhitzung noch grösser werden.

Spannkraft der Luft 80,9 mm.
Aluminiumelectroden.

Zahl der Elem.	Rheost.- Wider- stand	0,2 cm Abst. zw. d. Electr.		1 cm Abst. zw. d. Electr.		2 cm Abst. zw. d. Electr.		3 cm Abst. zw. d. Electr.		4 cm Abst. zw. d. Electr.	
		<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>
9.104	II	2754	457	—	—	—	—	—	—	—	—
10.104	"	3271	440	—	—	—	—	—	—	—	—
11.104	"	3685	410	2960	717	—	—	—	—	—	—
12.104	"	4150	405	3378	740	2480	1135	—	—	—	—
13.104	"	4552	452	3970	710	3050	1090	2046	1520	—	—
14.104	"	4985	450	4339	740	3505	1075	2578	1490	—	1850
10.104	I	7900	417	6306	737	4730	1115	—	—	—	—
12.104	"	9640	422	8480	665	6378	1115	—	—	—	—
14.104	"	11880	400	10390	698	8200	1075	6360	1435	4244	1870
6.104	A	—	—	9120	662	—	—	—	—	—	—
8.104	"	—	—	16800	645	6960	1110	—	—	—	—
10.104	"	25800	405	21900	640	16900	1000	8210	—	—	—
12.104	"	—	437	27500	612	22800	925	15800	1332	9800	1697
14.104	"	—	—	33700	600	29210	875	23800	1200	17700	1610

Platinelectroden.

8.104	II	2095	555	—	—	—	—	—	—	—	—
10.104	"	3030	553	2458	812	1150	1350	3,8	1825	—	—
12.104	"	3944	503	3250	812	2232	1262	1205	1625	—	—
14.104	"	4720	485	4133	755	3330	1105	2372	1542	—	—
10.104	I	7080	535	6450	675	4550	1065	31	1850	—	—
12.104	"	9577	450	8670	673	6320	1030	4127	1445	1450	1975
14.104	"	11025	475	9820	723	7980	1050	6080	1420	4150	1862
6.104	A	12700	487	8230	670	—	—	—	—	—	—
8.104	"	21400	370	16700	645	7150	1058	—	—	—	—
						10400	900	—	—	—	—
10.104	"	—	—	22100	553	16700	875	6200	1473	—	—
12.104	"	—	—	30500	413	26000	737	19300	1105	8620	1725
14.104	"	—	—	—	—	32000	650	—	1052	13800	1647

Die Potentialdifferenz *r* ist constant und gleich in beiden Röhren.

Das positive Licht trat bei diesem wie bei den vorhergehenden Drucken nur bei der grössten Stromstärke hervor, bildete aber hier eine Lichtsäule von kleinerem, ungefähr 0,5 cm grossem Durchmesser. Der Abstand zwischen der Kathode und diesem Lichte betrug in beiden Röhren 0,5 bis 1 cm. Bei 4 cm Schlagweite hatte die positive Lichtsäule eine Verengung auf der Mitte, bestand also aus zwei zusammenfliessenden Theilen.

§ 4. Der Luftwiderstand.

Für Berechnung der Werthe des Luftwiderstandes und des Uebergangswiderstandes an den Electroden aus den angeführten Beobachtungen haben wir dieselben ¹⁾ graphisch verzeichnet. Der Uebersicht wegen sind einige von diesen Beobachtungsreihen, nämlich die bei 0,125; 0,30; 1,73; 11,6 und 20,7 mm Druck auch hier in kleinerem Maassstab wiedergegeben. Die Abscissen bezeichnen die Stromstärke in 10^{-6} Ampère, die Ordinaten die Potentialdifferenz zwischen den Electroden der Entladungsröhre in Volt. Die Zahl neben jeder Curve gibt den Abstand zwischen den Electroden an. Die Curven zeigen also, wie bei verschiedenem Abstande zwischen den Electroden die Potentialdifferenz zwischen diesen mit der Stromstärke variirt. Die Curven, welche sich auf die Versuche mit den Aluminiumelectroden beziehen, sind voll, die für die Versuche mit den Platinelectroden gebrochen gezeichnet.

Die Curven verlaufen sehr regelmässig, beinahe ganz ohne Schwankungen, sodass die Resultate bestimmt und zuverlässig sind. Wir finden also:

1) dass für beide Electrodenpaare die Curven bei den höheren Drucken horizontal und in grosser Entfernung von einander laufen, bei den niedrigeren dagegen mehr und mehr schief aufsteigend und zusammen,

2) dass aber bei jedem Druck die Curven, sei es, dass sie horizontal oder schief sind, doch immer einander parallel laufen.²⁾

Der verticale Abstand zwischen den Curven gibt nun an, um wieviel die Potentialdifferenz zwischen den Electroden der Entladungsröhre bei Vergrösserung der Schlagweite wächst. Bei den höheren Drucken wächst also diese Potentialdifferenz rasch bei Vergrösserung der Schlagweite, bei den niedrigsten sehr wenig. Dies zeigt, dass bei den höheren

1) Homén, Acta Soc. Sc. Fenn. 17. 1888.

2) Dass bei 6,0 und 11,6 mm Druck die Curven für die grösseren Schlagweiten bei gewisser Stromstärke eine Discontinuität, eine plötzliche Steigung zeigen, beruht darauf, dass das positive Licht bei dieser Stromstärke plötzlich auftritt, und der Widerstand dabei wächst. Danach laufen die Curven wieder in der vorigen Richtung.

Spannungen der Widerstand der Luftsäule selbst, welcher mit der Länge der Luftsäule wachsen muss, überwiegt, dass bei den niedrigsten dagegen ein von der Länge der Luftsäule unabhängiger Uebergangswiderstand an den Electroden hervortritt, während der Luftwiderstand selbst nur ganz klein ist und mit der Verdünnung immer kleiner und kleiner wird. Da nun aber bei jedem Druck die verschiedenen Curven einander parallel sind, der verticale Abstand zwischen denselben also überall, für jeden Werth der Abscisse, der Stromstärke, derselbe, so folgt, dass der Zuwachs der Potentialdifferenz im Entladungsrohr bei Vergrösserung der Schlagweite constant, von der Stromstärke unabhängig ist. *Die Potentialdifferenz zweier Querschnitte der Luftsäule ist also constant, von der Stromstärke unabhängig.*

Auch Hittorf¹⁾ fand, wenn ein stetiger Strom durch eine Geissler'sche Röhre geleitet wurde, die Spannungsdifferenz zweier Querschnitte des positiven Lichtes constant, von der Stromstärke unabhängig; die Ladung eines Condensators, dessen Belege mit zwei Aluminiumdrähten verbunden waren, welche durch die Wände der Entladungsröhre in das positive Licht hineinragten, war nämlich constant. Das Licht übt indessen in dieser Beziehung keinen Einfluss aus; auch bei Entladung ohne Licht oder im dunklen Raume zwischen dem positiven und negativen Lichte ist, wie oben gezeigt, die Potentialdifferenz zweier Querschnitte der Gassäule constant. Und nach meiner Ansicht ist gerade der Widerstand bei Entladung ohne Licht oder der Widerstand im Theile der Entladungsbahn, wo kein Licht auftritt, als der normale Widerstand des Gases zu bezeichnen. Und dieser Widerstand muss, weil die Potentialdifferenz zweier Querschnitte der Gassäule constant ist, in derselben Einheit wie die electromotorische Kraft gemessen werden.

Man könnte allerdings sagen, wie Hittorf in Bezug auf das positive Licht schreibt: „Wollte man für den positiven Theil der Gasstrecke bei den verschiedenen Stromstärken die Länge eines Drahtes substituiren, ohne dass die Intensität des Stromes eine Aenderung erfährt, so müsste dieselbe

---

1) Hittorf, Wied. Ann. 20. p. 705. 1884.

letzterer umgekehrt proportional genommen werden. Wir können daher auch sagen: Das Leitungsvermögen der positiven Gasstrecke nimmt proportional der Stromstärke zu⁴. Man erhält also bei Durchgang der Electricität durch Gase, wenn man von dem Uebergangswiderstande an den Electroden absieht, statt der Ohm'schen Formel die Formel $i = E/(R + r/i)$, wo r/i den Gaswiderstand und R den Widerstand der übrigen Leitung bezeichnen. Diese Formel ist aber mit der einfacheren $i = (E - r)/R$ identisch, nach welcher der electrische Widerstand der Gase in derselben Einheit wie die electromotorische Kraft zu messen ist. Nur bei einer derartigen Messung kann der Gaswiderstand durch eine constante Zahl ohne Zusammenhang mit etwas anderem angegeben werden. Die andere oben besprochene Auffassungsweise ist auch dadurch unhaltbar, dass bei kleiner electromotorischer Kraft gar kein Strom durch das Gas geht, dass es also dann keinen Rheostatenwiderstand gibt, welcher für den Gaswiderstand substituirt werden kann.

Den Namen Widerstand möchte man wohl der letzten Formel gemäss vermeiden und statt dessen von einer electromotorischen Gegenkraft der Gase sprechen. Wir behalten dennoch den Namen Widerstand bei, da von dem Widerstande, den die Luft gegen die Fortpflanzung der Electricität leistet, die Rede ist, und da der ganze Widerstand der Luft in derselben Einheit gemessen werden kann. Dies scheint uns am einfachsten und bequemsten zu sein, ohne Anlass zu einem Missverständniss zu geben.

Ehe wir zur quantitativen Bestimmung des Luftwiderstandes übergehen, müssen wir noch einige Versuche erwähnen, welche sich ebenfalls auf die Electricitätsleitung der Gase beziehen. In letzter Zeit haben Schuster¹⁾ und Arrhenius²⁾ wie früher Hittorf³⁾ gefunden, dass wenn eine primäre Entladung durch ein stark verdünntes Gas geht, die zum Phosphoresciren gebrachten Theile des Gases in der Nähe von den Electroden, besonders die von der Kathoden-

1) Schuster, Proc. Roy. Soc. **42**. p. 371. 1887.

2) Arrhenius, Wied. Ann. **32**. p. 545. 1887.

3) Hittorf, Wied. Ann. **7**. p. 614. 1879.

strahlung getroffenen Theile, sich bisweilen als Leiter auch gegen kleine electromotorische Kräfte verhalten. Der entstandene secundäre Strom kann unter gewissen Umständen der erregenden electromotorischen Kraft proportional sein wie bei festen Leitern. Schuster und Arrhenius nehmen an, dass die die lichtähnliche Strahlung von den Electroden die Ionen der Gasmolecüle in solche Vibrationen setzt, dass das Gas electrolytisch leitend wird.

Auch durch Beleuchtung mit gewöhnlichem Lichte wird nach Hertz¹⁾ durch Einwirkung der ultravioletten Strahlen die Leitungsfähigkeit der Luft bei gewöhnlichem Drucke ein wenig vermehrt. Die Entladung eines Inductoriums geschah leichter, wenn die Electroden und die Funkenstrecke von ultravioletten Strahlen getroffen wurde, als ohne Belichtung. E. Wiedemann und H. Ebert²⁾ fanden indess bei Fortsetzung der Hertz'schen Versuche mit Anwendung von statischer Electricität, dass die blosse Belichtung der Luftstrecke für sich zwischen den Electroden keinen Einfluss hat. Ebenso wurde bei Belichtung der positiven Electrode nie eine Veränderung der Entladung bemerkt. Wenn aber die negative Electrodenkugel belichtet wurde, geschahen die Entladungen regelmässiger und erfolgten schneller aufeinander, als es ohne Belichtung der Fall war. Diese Einwirkung ist bei einem gewissen mittleren Drucke (von ca. 300—400 mm Quecksilber bei Luft, 200—300 mm bei Wasserstoff) am stärksten, bei höheren Drucken wird sie geringer; noch schneller verhindert sich ihre Intensität bei abnehmenden Drucken. Bei Drucken unter 50 mm war kein Einfluss der Belichtung zu bemerken.

Arrhenius wiederum hat gefunden³⁾, dass bei Drucken zwischen 0,6 und 15,0 mm eine Säule von 38 Clark'schen Elementen einen (sehr schwachen) Strom zwischen zwei Platinspitzen hervorbrachte, wenn die mit einer durchsichtigen Quarzplatte geschlossene Entladungsröhre durch einen electrischen Funken ausserhalb der Platte beleuchtet wurde,

1) Hertz, Wied. Ann. **31**. p. 983. 1887.

2) E. Wiedemann u. H. Ebert, Wied. Ann. **33**. p. 241. 1888.

3) Arrhenius, Wied. Ann. **33**. p. 638. 1888.

sonst aber nicht. Arrhenius meint, dass hierdurch dargelegt ist, dass die Luft durch Belichtung leitend werden kann. Die scheinbare Vergrösserung der Leitungsfähigkeit beruht indess wahrscheinlich wie E. Wiedemann und H. Ebert bei ihren Versuchen fanden, auch hier ausschliesslich auf einer Verminderung des grossen Uebergangswiderstandes an der Kathode. Der Widerstand in der nur 1,4 mm langen Luftsäule zwischen den Platinspitzen bei den Versuchen von Arrhenius ist nämlich auch ohne Belichtung ziemlich klein, liegt bei den angeführten Drucken, nach den von uns gefundenen, unten angeführten Werthen des Luftwiderstandes bei Entladung ohne Licht, zwischen etwa 2 und 21 Volts, und die electromotorische Kraft der 38 Clark'schen Elemente war etwa 55 Volts. Ein entscheidender Beweis, dass Belichtung den Luftwiderstand vermindert, ist also noch nicht gegeben.

Dass dagegen, wie oben beschrieben, die Kathodenstrahlung auf die Leitungsfähigkeit der Gase einwirkt und dieselbe vermehrt, darauf deuten auch einige von unseren Versuchen, wovon im Folgenden mehr. Diese eigenthümlichen Verhältnisse in der Nähe der Kathode wirken jedoch nicht auf die Resultate unserer Versuche über die Electricitätsleitung der Gase in gewöhnlichem unbeleuchteten Zustande und im positiven Lichte ein und machen vielmehr besondere Bestimmungen nothwendig.

§ 5. Bestimmung des Luftwiderstandes.

Bei Bestimmung des Gaswiderstandes muss man die Lichterscheinungen in der Entladungsröhre in Betracht ziehen, denn das Licht wirkt auf die Grösse des Widerstandes ein. Deswegen wurden, um den Widerstand in den verschiedenen Theilen der Entladungsbahn zu vergleichen, und auch, um zu controliren, wie genau und präcis der Widerstand mit der Schlagweite wächst, bei Drucken über 1 mm Versuche angestellt, wobei die Schlagweite immer nur um 1 cm vergrössert wurde. Bei 0,30 mm Druck wurden Beobachtungen bei Schlagweiten, welche mit immer 3 cm voneinander differiren, angestellt.

Aus diesen Beobachtungen, wie aus den in § 3 ange-

führten, geht hervor, dass bei Drucken unter 11,6 mm, besonders bei 6,0 mm Druck, der Widerstandszuwachs im Entladungsrohr bei Vergrösserung der Schlagweite, der Luftwiderstand selbst also, grösser im positiven Lichte als in dem dunklen Raume ist. Wie es sich bei den höheren Drucken verhält, ist dagegen schwerer zu entscheiden, denn das positive Licht tritt bei diesen Drucken nur bei so grosser Stromstärke auf, dass die grosse Erhitzung des Gases und der Electroden die Sache verwickelt. Dies Verhältniss, dass bei Drucken über 6 mm das positive Licht, worin hier die ganze Lichterscheinung beinahe besteht, erst bei ziemlich grosser Stromstärke hervortritt, erinnere ich mich nicht, früher in der Literatur so bestimmt erwähnt gesehen zu haben. Dass bei 20,7, 40,7 und 80,9 mm Druck (siehe § 3) der Widerstand im Entladungsrohr nicht grösser, oft ein wenig kleiner ist, wenn das positive Licht auftritt, als ohne Licht, beruht also wahrscheinlich auf der Erhitzung bei den starken Strömen. Möglich ist auch, dass bei diesen Drucken die Entladung ohne Licht nicht in so enger Bahn geschieht, als wenn das positive Licht auftritt, dass also, wenn auch die gemessene Stromstärke, wie bei 80,9 mm Druck einmal beobachtet wurde, in beiden Fällen gleich ist, die Stärke des Stromes durch die Einheit des Querschnittes, die Stromdichte also in der leuchtenden Entladungsbahn grösser ist, als bei dunkler Entladung. Durch die infolge der grösseren Stromdichte entstehende grössere Erwärmung und Verdünnung des Gases wird dann der Widerstand im positiven Lichte vermindert und dem Widerstande bei Entladung ohne Licht gleich. Ueber die Verhältnisse im Kathodenlichte, welches jedoch nur bei den Drucken unter 1 mm eine grössere Ausdehnung hat, ist schwerer auf Grund der vorliegenden Versuche zu entscheiden und liegt auch nicht direct im Plan dieser Abhandlung.

Wenn wir aber den Widerstand in Theilen der Entladungsbahn, wo das Licht überall dasselbe ist, oder wo kein Licht auftritt, näher vergleichen, finden wir aus den soeben erwähnten, wie schon aus den in § 3 angeführten Beobachtungen, dass der Widerstand im Entladungsrohr bei unverändertem Lichte um gleiche Grössen wächst, wenn die Schlagweite um

gleiche Grössen vermehrt wird. Der Widerstand in einer Luftsäule, wo das Licht überall dasselbe ist, oder wo kein Licht auftritt, ist also der Länge der Säule proportional.

Aus den in § 3 angegebenen, in hinreichender Grösse graphisch verzeichneten Beobachtungen (für 0,30 und 1,73 mm Druck mit Verwerthung der Zahlen der soeben erwähnten Versuchsreihen) haben wir den Widerstand einer 1 cm langen Luftsäule und auch den Uebergangswiderstand an den Electroden berechnet. Der verticale Abstand zwischen den parallelen Curven, welcher den Widerstandszuwachs (in Volts) bei Vergrösserung der Schlagweite angibt, wird also durch die entsprechende Schlagweitedifferenz dividirt, wodurch der Widerstand der Längeneinheit der Gassäule, einer 1 cm langen Luftsäule, erhalten wird. Für die drei niedrigsten Drucke, wo besonders die Curven der Versuche mit den Platinelectroden steil aufwärts steigen, werden hierbei diese Curven in anderer Scala aufgetragen; die Abscissen sind 20 mal so gross wie auf den übrigen Tafeln.

Wir haben auf diese Weise folgende Werthe des Luftwiderstandes im dunklen Raume (ohne Licht) und im positiven Lichte gefunden. Wo die Zahlen eingeklammert sind, sind die Bestimmungen weniger zuverlässig oder bei den höchsten Drucken nur durch Vergleichung des ganzen Widerstandes im Entladungsrohr bei Entladung ohne Licht mit dem Widerstande beim Auftreten des positiven Lichtes erhalten.

Widerstand einer 1 cm langen Luftsäule.

Druck	In der Röhre mit			
	Aluminiumelectroden		Platinelectroden	
	Ohne Licht	Im pos. Lichte	Ohne Licht	Im pos. Lichte
0,090 mm	(4) Volt	5 Volt		(3) Volt
0,125 "	(6) "	7 "		12 "
0,30 "	10 "	12 "		18 "
1,73 "	32 "	50 "		50 "
6,0 "	60 "	103 "	63 Volt	114 "
11,6 "	125 "	(140) "	125 "	
20,7 "	185 "	(185) "	180 "	
40,7 "	280 "	(280) "	285 "	
80,9 "	380 "	(380) "	380 "	

Bei Betrachtung der obigen Tabelle finden wir erstens, dass der Luftwiderstand, ausser bei den allerniedrigsten Drucken, derselbe in der Röhre mit Platin-, wie in der mit Aluminiumelectroden ist, welcher Umstand die Zuverlässigkeit und die Allgemeingültigkeit der Resultate vermehrt. Dies zeigt nämlich, dass die bei Bestimmung des Luftwiderstandes gemachte Voraussetzung, dass die Zunahme des Widerstandes im Entladungsrohr bei Vergrösserung der Schlagweite ausschliesslich auf einem Zuwachse des Luftwiderstandes (nicht auf einer Veränderung des Uebergangswiderstandes an den Electroden) beruht, richtig ist. Denn es ist kaum denkbar, dass, wenn dieser Widerstandszuwachs zum Theil auf einem Zuwachse des Uebergangswiderstandes an den Electroden beruhte, die Zunahmen zweier so ungleicher Grössen wie die Uebergangswiderstände an den Aluminium- und den kleinen Platinelectroden einander gleich wären. — Auch bei den niedrigsten Drucken sind die Differenzen zwischen den erhaltenen Werthen des Luftwiderstandes, wie auch diese Werthe selbst, so ausserordentlich klein im Vergleich mit den grossen Werthen des Uebergangswiderstandes an den Electroden (siehe § 6), dass dies nur ein weiterer Beweis dafür ist, dass der Uebergangswiderstand unabhängig vom Abstände zwischen den Electroden ist, dass also die bei den übrigen Drucken erhaltenen Werthe auf den Luftwiderstand wirklich die Grösse dieses Widerstandes angeben. Auch bei den niedrigsten Drucken dürften die im Rohre mit Aluminiumelectroden erhaltenen Werthe annähernd richtig sein.

Weiter sehen wir, wie schon erwähnt, dass der Widerstand bei Drucken unter 20 mm, besonders bei 6,0 und 1,73 mm Druck, viel grösser im positiven Lichte als in dem dunklen Raume ist.

Wenn das Licht nicht eine von den Electroden ausgehende Strahlung ist, sondern in den Gasen selbst bei Durchgang der Electricität entsteht, wie es mit dem positiven Lichte der Fall zu sein scheint, muss man auch erwarten, dass der Widerstand beim Auftreten des Lichtes vergrössert wird. Die Arbeit, welche zum Hervorbringen des Lichtes gebraucht wird, und wozu die nöthige Energie

von dem electrischen Strome geliefert wird, vermehrt natürlich die Arbeit, welche der Strom bei Ueberwinden des Widerstandes verrichtet, vermehrt also den gemessenen Widerstand. Dies ist bei Druck zwischen 1 und 20 mm der Fall.

Dass bei den niedrigsten Drucken unter 1 mm der Widerstand im positiven Lichte kaum oder nur unbedeutend grösser als im dunklen Raume ist, zeigt vielleicht, dass das Licht bei diesen Drucken eine nur kleine Arbeit verbraucht. Möglich ist auch, dass dasselbe von der Anwesenheit der Electroden bedingt oder beeinflusst wird. Schwerer ist dann zu erklären, warum bei den höchsten Drucken der Widerstand im positiven Lichte nicht grösser erscheint, als bei Entladung ohne Licht. Wahrscheinlich ist jedoch, wie oben angenommen, dass der Entladungsstrom beim Auftreten des positiven Lichtes in engerer Bahn verläuft, als bei dunkler Entladung, und dass die hierauf beruhende grössere Erwärmung der Entladungsbahn den Widerstand vermindert.

Das negative Kathodenlicht ist dagegen eine Strahlung von der Kathode, welche indess nur bei den Drucken unter 1 mm eine grössere Ausdehnung hat. Die Eigenthümlichkeiten des Leitungsvermögens des Kathodenlichtes sind schon in § 3, und werden weiter bei den Controlversuchen in § 7 behandelt werden.

Was den Einfluss der Erwärmung des Gases bei durchgehendem Strome betrifft, so übt dieselbe bei mässiger Stromstärke keinen bedeutenden Einfluss aus. Bei Vergrösserung der Stromstärke wird nämlich der Widerstand der Luft, wie aus dem Parallelismus der Widerstandscurven ersichtlich, kaum oder ganz wenig vermindert. Obgleich bei starker Erhitzung der Widerstand bedeutend vermindert wird, so übt eine mässige Temperaturerhöhung auf den Widerstand bei den Gasen direct vielleicht keinen Einfluss aus, denn die kleine Convergenz der Curven bei wachsender Stromstärke kann vollständig von einer Widerstandsverminderung infolge der die Erwärmung begleitenden Ausdehnung und Verdünnung des Gases verursacht werden. In einer früheren Abhandlung¹⁾ habe ich weiter gezeigt, dass der Gaswiderstand

---

1) Homén, Wied. Ann. 26. p. 55. 1885.

von der Durchschnittsfläche der Entladungsbahn unabhängig oder nur wenig abhängig ist. *Die im vorigen Paragraphen angeführten Widerstandswerthe gelten also für jede Luftsäule von 1 cm Länge.*

Im Anfange des § 2 wurde gesagt, dass bei einer früheren Gelegenheit Entladungsversuche mit continuirlichen Strömen nach einer etwas anderen Methode von mir gemacht wurden. Hier kann vielleicht erwähnt werden, dass die dabei erhaltenen Resultate und Widerstandswerthe mit den oben angeführten ganz übereinstimmen. Nur bei dem niedrigsten Drucke (die Versuche wurden bei Drucken zwischen 0,089 und 10,8 mm angestellt) ist der Werth des Luftwiderstandes etwas grösser als hier.

In Betreff der Aenderungen des Luftwiderstandes mit dem Drucke sehen wir, dass der Widerstand der Luft mit zunehmendem Drucke wächst, weniger aber als proportional mit letzterem. Wäre die Abweichung von der Proportionalität sehr klein, so könnte man glauben, dass dieselbe auf Beobachtungsfehlern oder störenden Einflüssen beruhte. Dieselbe ist aber zu gross, um dies zu gestatten, und man muss also als nachgewiesen ansehen, *dass der Widerstand der Luft mit dem Drucke wächst, langsamer aber als letzterem proportional.*

Mit der Frage der Abhängigkeit des Luftwiderstandes von dem Drucke hängt die Frage der Leitungsfähigkeit des Vacuums zusammen, also die Frage, ob der Luftwiderstand bei immer fortgesetzter Verdünnung stetig abnimmt und sich dem Grenzwerte Null nähert. Die oben erhaltenen Resultate, wie auch die soeben citirten Untersuchungen von mir¹⁾ deuten darauf hin, dass der Widerstand eines Gases bei immer fortgesetzter Verdünnung sich vermindert; sie stehen in allen Fällen nicht im Widerspruche zu der von Edlund²⁾, wie auch von anderen Forschern gemachten Annahme, dass das Vacuum an sich ein guter Leiter ist. Hittorf³⁾ fand freilich, dass bei Drucken unten 0,022 mm

1) Hörnén, l. c. p. 55.

2) Edlund, K. Sv. Vet. Akad. Handlingar. 19. p. 30. 1881; Wied. Ann. 15. p. 514. 1882.

3) Hittorf, l. c. p. 733.

die Potentialdifferenz zweier Querschnitte des positiven Lichtes bei fortgesetztem Auspumpen des Gases verhältnissmässig wenig abnahm und einem gewissen endlichen Grenzwerte sich zu nähern schien. Die Bestimmung dieser niedrigen Drucke war jedoch, wie Hittorf zugibt, sehr unsicher. (Die Bestimmung geschah unter der bei grosser Verdünnung nicht berechtigten Annahme, dass der Druck bei jedesmaligem Auspumpen um denselben Bruchtheil (0,71) seines vorigen Werthes reducirt wird.) Wahrscheinlich verminderte sich der Druck viel langsamer als angegeben und sank nicht unter ein gewisses Minimum, eben wie die Potentialdifferenz des positiven Lichtes sich einem Grenzwerte näherte, welcher wahrscheinlich diesem Druckminimum entsprach. In allen Fällen war Quecksilberdampf in den Röhren vorhanden, sodass die Verdünnung nicht weiter getrieben werden konnte.

Auf andere Weise sucht Foeppl¹⁾ zu beweisen, dass das Vacuum nicht ein Leiter sein kann. Zwei Spiralen aus Glasröhren bildeten nebst geraden Verbindungsstücken einen „geschlossenen, homogenen Vacuumstromkreis“. Es wurden keine Electroden angewandt, sondern die Electricitätserregung durch Induction hervorgebracht. Um die eine Spirale war nämlich eine Kupferdrahtspirale gewickelt, in welcher ein inducirender Strom circulirte. Die andere Spirale war in zwölf Windungen wie der Leitungsdraht eines Galvanometers um einen frei schwingenden Magnetspiegel gewickelt. Mit einer Töpler'schen Quecksilberluftpumpe wurde die ganze Rohrleitung evacuirt. Bei Drucken „von einigen Centimetern Quecksilbersäule an bis zu den niedrigst erreichbaren“ konnte kein messbarer Inductionsstrom in der Rohrleitung hervorgebracht werden. Hieraus und aus dem Ausbleiben jeder Lichterscheinung in der Rohrleitung zieht Foeppl den Schluss, dass das Vacuum nicht ein Leiter sein kann. Ein solcher Schluss ist indess nicht berechtigt. Von der Unempfindlichkeit des Strommessungsapparates, besonders bei kurz dauernden Inductionsströmen, abgesehen, war nämlich die Luftleitung sehr lang. Diese nicht direct angege-

---

1) Foeppl, Wied. Ann. 33. p. 504. 1888.

bene Länge lässt sich zu mindestens 13 m berechnen. Der auch nicht näher angegebene Luftdruck aber möchte bei diesen langen Rohrcomplexen mit so sehr ausgedehnten Wandflächen, und weil nach der Angabe eine sichtbare Luftperle an den Wänden des Auslassrohres der Pumpe hängen blieb und nicht weiter ausgetrieben werden konnte, nicht allzu niedrig sein. Bei 0,09 mm Druck, dem niedrigsten bei meinen Versuchen, ist indess der Widerstand einer 13 m langen Luftsäule noch etwa 5200 ($= 1300 \times 4$) Volt, bei Drucken von einigen Centimetern über viele Hunderttausend. Ganz natürlich also, dass bei den Foeppl'schen Versuchen, wo das Maximum der in der Luftleitung inducirten electromotorischen Kraft „freilich nur der Grössenordnung nach“ zu 270 Volt berechnet wurde, kein Strom hervorgebracht werden konnte. Diese Versuche müssten also bis zu ganz extremen, wohl nicht erreichbaren Verdünnungen geführt werden, um etwas zu beweisen. Uebrigens wären solche Versuche wie die Foeppl'schen, nur dann für das Nichtleiten des Vacuums mehr beweisend, wenn bei gewissen Drucken ein Inductionsstrom aufträte, bei grösserer Verdünnung dagegen aufhörte hindurchzugehen.

Das Ausbleiben jeder Lichterscheinung ist für das Nichtleiten des Vacuums ebenso wenig beweisend, denn es ist keineswegs gesagt, dass das vor den Electroden oder bei grosser Stromstärke auftretende Licht in den Geissler'schen Röhren auch bei einem Strome durch Gas ohne Electroden auftreten soll. Uebrigens hat Hittorf¹⁾, wie Foeppl in einer späteren Abhandlung²⁾ zugibt, sowie Sundell³⁾ und Melander⁴⁾ mit Anwendung von statischer Electricität Lichterscheinungen in Geissler'schen Röhren durch Induction hervorgebracht. Die Frage über die Leitungsfähigkeit des Vacuums muss also als eine noch offene angesehen werden.

Fassen wir schliesslich die erhaltenen Resultate über den Luftwiderstand zusammen, so will ich zuerst bemer-

---

1) Hittorf, Wied. Ann. **21**. p. 138. 1884.

2) Foeppl, Wied. Ann. **34**. p. 222. 1888.

3) Sundell, Acta Soc. Sc. Fenn. **15**. p. 203. 1885.

4) Melander, Finska Vet. Soc. Förh. **29**. 1887.

ken, dass dieselben nur durch Anwendung von stetigen galvanischen Strömen erzielt werden konnten. Bei diesen Strömen können nämlich die Verhältnisse während des Durchganges der Electricität durch das Gas studirt werden und zeigen während dieses Durchganges, im Gegensatze zu den Verhältnissen bei den Inductionsströmen, eine dauernde Stabilität, sodass sie genau beobachtet und gemessen werden können.

Viele Forscher, von den Versuchen mit statischer Electricität ausgehend, sind der Ansicht, dass man nicht von einem eigentlichen Leitungswiderstande bei den Gasen sprechen kann, sondern dass man nur zu bestimmen hat, eine wie grosse Potentialdifferenz zwischen den Electroden in verschiedenen Fällen nothwendig ist, um eine Entladung überhaupt zu Stande zu bringen. Aus den hier oben beschriebenen Versuchen geht aber nach unserer Meinung hervor,

1) dass man auch bei den Gasen von einer *Electricitätsleitung* sprechen kann,

2) dass aber der *Leitungswiderstand der Luft* und wahrscheinlich aller Gase in einer Einheit von denselben Dimensionen wie die *electromotorische Kraft* zu messen ist,

3) dass die oben angeführten, in Volts gemessenen Werthe des *Luftwiderstandes* den *Leitungswiderstand* einer 1 cm langen *Luftsäule* bei den betreffenden Drucken wirklich angeben, und

4) dass der *Luftwiderstand* mit der *Dichte der Luft* wächst, langsamer aber als derselben proportional.

§ 6. Uebergangswiderstand an den Electroden.

Wenn man mit Hülfe der erhaltenen Werthe auf den Luftwiderstand aus den gemachten Beobachtungen den Werth (r_0) der Potentialdifferenz zwischen den Electroden bei 0 cm Schlagweite extrapolirt, so gibt die Grösse r_0 den Werth des Uebergangswiderstandes an den Electroden an. Wie man aus der schiefen Lage der Curven ersieht, wächst der Uebergangswiderstand mit der Stromstärke, an den Platinelectroden von 11,6 mm Druck an abwärts, an den Aluminium-

electroden bei Drucken unter 0,3 mm. Der Uebergangswiderstand r kann also als eine Function:

$$r_0 = a + bi + ci^2 + di^3 + \dots$$

von der Stromstärke i betrachtet werden, wo $a, b, c, d, \dots$ von der Beschaffenheit der Electroden und des Gases abhängige Constanten sind. Wenn nun die Grösse r_0 in Volts gemessen ist, so bezeichnet der Coëfficient a in der obigen Gleichung Volt und b Ohm (wenn i in Ampères angegeben ist). Die Coëfficienten $c, d, \dots$ haben andere Dimensionen als alle früher bekannten Einheiten. Wenn indessen die Widerstandscurven ziemlich geradlinig laufen, kann man den Uebergangswiderstand r_0 annähernd als eine lineare Function:

$$r_0 = a + bi$$

von der Stromstärke i bezeichnen.

Bei Druck über 1 mm laufen, wenn man die graphische Darlegung der Resultate beachtet, die ausgezogenen Curven so geradlinig, dass man der obigen linearen Gleichung volle Gültigkeit anerkennen muss. Dass bei grosser Stromstärke die Curven, besonders für die Versuche mit den Platinelectroden, eine Biegung nach unten zeigen, beruht ohne Zweifel nur auf der bei wachsender Stromstärke eintretenden starken Erhitzung der Electroden, wodurch, wie schon früher erwähnt, der Uebergangswiderstand vermindert wird. Dies widerspricht also nicht der Gültigkeit der erwähnten Formel und begrenzt nur die Anwendung derselben in den Fällen, wo die Erhitzung der Electroden nicht allzu gross ist.

Bei den niedrigsten Drucken (unter 0,30 mm) laufen die Curven für die Platinelectroden unregelmässiger, und die Curven für die Aluminiuelectroden zeigen eine Krümmung. Ob diese Krümmung auch nur auf der Erhitzung der Electroden beruht, oder anderweitig begründet ist, ist schwer zu entscheiden. Und wenn auch nur die Erhitzung der Electroden diese Krümmung verursacht, so ist dieselbe doch mit dem Durchgange der Electricität so unzertrennlich verbunden, dass eine Formel, welche sich besser an die Totalität des Phänomens schliesse, als die obige lineare Gleichung, hier vielleicht vorzuziehen wäre. Wir haben indess

der Einfachheit wegen die lineare Gleichung $r_0 = a + bi$ auch bei den niedrigsten Drucken beibehalten. Bei den höheren Drucken, und für Aluminiumelectroden schon bei 1,73 mm Druck, ist jedoch der in Ohm gemessene Theil des Uebergangswiderstandes gleich Null, und der ganze Widerstand im Entladungsrohr folglich in Volt zu messen.

Bei der Extrapolation des Werthes der r_0 für Bestimmung der Grössen a und b wird der Widerstand im negativen Lichte im Entladungsrohr gleich demselben im dunklen Raume gesetzt. Der hierbei begangene Fehler wird nicht gross, denn bei niedrigen Drucken ist der Gaswiderstand überhaupt sehr klein, besonders im Vergleich mit dem Uebergangswiderstande an den Electroden, und bei höheren Drucken ist die Ausdehnung des negativen Lichtes sehr klein. Auf den Tafeln ist die gerade, mit 0 cm bezeichnete Linie ausgezogen, welche die Werthe von r_0 angibt, woraus a und b berechnet sind. Wir finden so die folgenden Werthe für den Uebergangswiderstand.

Uebergangswiderstand an den Electroden.

Druck	Aluminiumelectroden	Platinelectroden
0,090 mm	1150 Volt + 2 200 000 Ohm	
0,125 "	800 " + 1 500 000 "	1380 Volt + 14 700 000 Ohm
0,30 "	540 " + 92 000 "	650 " + 6 300 000 "
1,73 "	360 " + 0 "	380 " + 860 000 "
6,0 "	270 " + 0 "	260 " + 370 000 "
11,6 "	280 " + 0 "	265 " + 136 000 "
20,7 "	310 " + 0 "	370 " + 0 "
40,7 "	320 " + 0 "	420 " + 0 "
80,9 "	350 " + 0 "	430 " + 0 "

Bei Vergleichung des Uebergangswiderstandes an den verschiedenen Electroden finden wir, dass bei den höheren Drucken, über 20 mm, der Uebergangswiderstand ziemlich derselbe an den beiden Electrodenpaaren, an den scheibenförmigen von Aluminium und den kleinen Drahtspitzen von Platin, ist. Ich will dieses Verhältniss auch darum hervorheben, weil bei Versuchen mit statischer Electricität verschiedene Electroden, wie z. B. Spitze und Kugeln, sehr verschiedene Eigenschaften zeigen.

Einen Unterschied beobachtet man jedoch zwischen den

beiden Electrodenpaaren auch bei den höheren Drucken, nämlich, dass bei den Platinelectroden kaum eine grössere electromotorische Kraft, als die theoretisch nothwendige, erforderlich ist, um den Strom hindurchzutreiben (nachdem die Entladung einmal eingeleitet ist), während bei den Aluminiumelectroden die electromotorische Kraft mit einigen Hundert Volts den Widerstand im Entladungsrohr übertreffen muss, um den Strom durchtreiben zu können. Weiter beginnt die Entladung viel leichter zwischen den kleinen Platinelectroden, als zwischen denen von Aluminium, wo, um die Entladung einzuleiten, die Schlagweite zuerst sehr klein genommen werden muss und dann erst, nachdem die Entladung einmal durchgeht, vergrössert werden kann. Viele von der Beschaffenheit der Electroden abhängige Verhältnisse, welche während des Durchganges der Electricität keinen Einfluss mehr haben, schienen also bei der ersten Einleitung der Entladung störend aufzutreten. Dies gibt auch die Erklärung, warum bei den Versuchen mit statischer Electricität, wo es sich nur darum handelt, eine Entladung überhaupt hervorzubringen, die Form und Beschaffenheit der Electroden einen so grossen Einfluss ausüben.

Bei Drucken unter 10 mm ist der Uebergangswiderstand, besonders der in Ohm gemessene Theil desselben, viel grösser an den kleinen Platinelectroden als an denselben von Aluminium.

An beiden Electrodenpaaren, mehr noch bei den Platinelectroden, wächst der Uebergangswiderstand von einem Minimum zwischen 5 und 11 mm Druck stark mit der Verdünnung und auch ein wenig mit zunehmendem Druck. Bei fortgesetzter Verdünnung konnte bei 0,05 mm Luftdruck in der Entladungsröhre kein Strom mit den 1456 Elementen unserer Chromsäurebatterie hervorgebracht werden. Dass, wie viele Forscher es gefunden haben, auch bei Entladungsversuchen mit statischer Electricität, wo natürlich vielmal grössere Spannungen als mit einer galvanischen Batterie erreicht werden können, bei hinreichender, sehr grosser Verdünnung keine Entladung hervorgebracht werden kann, beruht ganz gewiss nur darauf, dass der Uebergangswiderstand an den Electroden bei abnehmendem Drucke immer wächst und schliesslich bei hinreichender Verdünnung so grosse Werthe

erreicht, dass keine Entladung möglich ist. Dies Aufhören jeder Entladung durch eine Geissler'sche Röhre bei hinreichender Verdünnung braucht also, in Uebereinstimmung mit dem Resultate des vorigen Capitels, keineswegs auf ein Nichtleiten des Vacuums zu deuten, sondern kann ausschliesslich auf dem grossen Zuwachse des Uebergangswiderstandes an den Electroden bei zunehmender Verdünnung beruhen, wie dies zuerst von Hittorf¹⁾ und Edlund²⁾ behauptet und nachgewiesen ist.

Hier ist noch zu erwähnen, dass die Electrodenflächen bei meinen oben beschriebenen Versuchen klein oder von solcher Form waren, dass das negative Licht nicht Gelegenheit hatte, sich über grössere Flächen auszubreiten. Bei langen Electrodendrähten breitet sich bei zunehmender Stromstärke und auch bei zunehmender Verdünnung das negative Licht über immer grössere Flächen aus, und hierbei hält sich die Potentialdifferenz der Electroden, wie Hittorf³⁾ und Warburg⁴⁾ gezeigt haben, sowohl bei Vergrösserung der Stromstärke als auch bei zunehmen der Verdünnung ziemlich constant. Doch wurden, besonders bei den Versuchen Warburg's, die Stromintensität und der Luftdruck innerhalb nur ziemlich enger Grenzen variirt. Dass die Ausbreitung des negativen Lichtes den mit wachsender Stromstärke sonst eintretenden Zuwachs der Potentialdifferenz der Electroden vermindert, habe auch ich bei den Platinelectroden bei 1,73 mm Druck beobachtet. Die Potentialdifferenz der Electroden nahm nämlich in der Regel mit der Stromstärke zu; wenn aber, was bei diesem Druck bisweilen geschah, das negative Licht sich hinter die Kathodenspitze erstreckte, so zeigte sich, wie aus den Beobachtungen ersichtlich, die Potentialdifferenz von der Stromstärke ziemlich unabhängig, und der Uebergangswiderstand gleich dem an den Aluminiumelectroden.

Wie früher gesagt, ist bei jedem Druck ein Theil des

1) Hittorf, Pogg. Ann. 136. p. 1 u. 197. 1869.

2) Edlund, K. Sv. Vet. Akad. Handlingar. 19. p. 30. 1881; Wied. Ann. 15. p. 514. 1882.

3) Hittorf, Wied. Ann. 21. p. 90. 1884.

4) Warburg, Wied. Ann. 31. p. 545. 1887.

Uebergangswiderstandes an den Electroden, bei den höheren Drucken der ganze Widerstand, in Volts zu messen. Dass bei der Gasentladung wirklich eine electromotorische Gegenkraft auftritt, welche unter gewissen Umständen zu einem Strome Anlass geben kann, hat Edlund¹⁾ gezeigt. Der Uebergangswiderstand ist dabei wohl zum Theil als eine electromotorische Gegenkraft aufzufassen.

§ 7. Controlversuche.

Der Controle wegen wurden noch einige Versuche in der Weise angestellt, dass die beiden Entladungsröhren hintereinander in die Leitung eingefügt wurden, und die Potentialdifferenz zwischen den äussersten der Electroden, die Summe der Widerstände in den Röhren also, bestimmt wurde. Die Abstände zwischen den Electroden der beiden Röhren wurden in der Weise variirt, dass die Summe derselben bei jeder Versuchsreihe constant war. Bei Drucken unter 1 mm konnten diese Versuche nicht durchgeführt werden, denn da die Röhren in Verbindung sowohl miteinander, als mit der Luftpumpe waren, so ging der Strom von der Kathode, welche in Verbindung mit dem Batteriepole war, direct zu der Anode der anderen Röhre, welche in Verbindung mit dem positiven Pole der Batterie war. Auch bei 1,73 mm Druck wurden keine Versuche gemacht; bei 6,0, 11,6 und 20,7 mm Druck wurden dagegen folgende Resultate erhalten. In der mit Al bezeichneten Columnne ist die Schlagweite zwischen den Aluminiumelectroden, in Columnne Pt die Schlagweite zwischen den Platinelectroden angegeben; i bezeichnet wie früher die Intensität des Stromes durch die Entladungsröhren in 10^{-6} Ampères, und r die Summe der Widerstände in den Entladungsröhren in Volts. In der letzten Columnne sind die aus den Tabellen der vorigen Paragraphen für die betreffende Stromstärke berechneten Werthe dieser Summe angegeben. Das Auftreten des positiven Lichtes ist mit p. L. bezeichnet.

---

1) Edlund, Pogg. Ann. 134. p. 250 u. 337. 1868; 139. p. 353. 1870.

Druck = 6,0 mm.
(12 × 104 Elemente; Rheostatenwiderstand I.)

Al.	Pt.	Die negativen Pole der Batterie verbunden mit der					
		Aluminiumkathode			Platinkathode		
		<i>i</i>	<i>r</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>r</i>
				(berechn.)			(berechn.)
1 cm	7 cm	1880	1773	1710	1910	1771	1720
2 "	6 "	1900	1773	1720	1920	1765	1730
3 "	5 "	1970	1758	1745	1980	1755	1750
4 "	4 "	1960	1758	1740	1980	1758	1750
5 "	3 "	1940	1760	1735	1970	1755	1745
6 "	2 "	1920	1768	1780	1900	1768	1720
7 "	1 "	1780	1799	1670	1830	1789	1690
1 cm	13 cm	710	2002 p. L.	2025	—	—	—
4 "	10 "	1370	1872	1860	—	—	—
10 "	4 "	1030	1937	1830	—	—	—
13 "	1 "	—	—	—	—	—	—

Druck = 11,6 mm.
(14 × 104 Elemente; Rheostatenwiderstand II.)

Al.	Pt.	Die negativen Pole der Batterie verbunden mit der					
		Aluminiumkathode			Platinkathode		
		<i>i</i>	<i>r</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>r</i>
				(berechn.)			(berechn.)
1 cm	9 cm	1470	2119	1995	1420	2132	1990
2 "	8 "	1580	2070	2010	—	—	—
3 "	7 "	1660	2041	2020	—	—	—
4 "	6 "	1650	2041	2020	—	—	—
5 "	5 "	1680	2028	2025	1640	2044	2020
6 "	4 "	1660	2028	2020	—	—	—
7 "	3 "	1710	2012	2030	—	—	—
8 "	2 "	1660	2028	2020	—	—	—
9 "	1 "	1540	2080	2010	1560	2070	2010

Druck = 20,7 mm.
(14 × 104 Elemente; Rheostatenwiderstand I.)

Al.	Pt.	Die negativen Pole der Batterie verbunden mit der					
		Aluminiumkathode			Platinkathode		
		<i>i</i>	<i>r</i>	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>r</i>
				(berechn.)			(berechn.)
1 cm	6 cm	3230	2010	1975	3020	2050	1975
2 "	5 "	3270	2000	"	3000	2050	"
3 "	4 "	3340	1987	"	3030	2050	"
4 "	3 "	3330	1985	"	3350	1985	"
5 "	2 "	3340	1985	"	2990	2050	"
6 "	1 "	3280	1995	"	2940	2060	"

Die oben erhaltenen Werthe für die Summe der Widerstände in den Entladungsröhren stimmen, wie ersichtlich, mit den auf Grund der früheren Beobachtungen berechneten gut überein. (Hier muss vielleicht erwähnt werden, dass eine Einwirkung des Lichtes in der einen Röhre auf den Widerstand in der anderen unmöglich war, denn die Glaswände der Röhren sind, wie zuletzt Hertz¹⁾ gefunden, vollkommen undurchlässig für die in dieser Beziehung wirkenden ultravioletten Strahlen.) Ganz unverändert sind die Widerstandssummen während der Versuche indess nicht. Wenn die Schlagweite in der einen Röhre klein genommen wird, zeigt sich bei 6,0 und 11,6 mm Druck eine kleine Vergrösserung der Widerstandssumme. Der Widerstand in der Röhre, wo die Schlagweite verkleinert wird, nimmt also nicht um ebensoviel ab, wie der Widerstand in der anderen bei gleicher Vergrösserung der Schlagweite zunimmt. Entweder wächst also der Uebergangswiderstand an der Anode, wenn diese in die Nähe der Kathode kommt, (schon ehe sie in das Kathodenlicht, welches bei diesen Drucken eine ganz kleine Ausdehnung hat, eintritt) oder der Widerstand ist am nächsten vor dem Kathodenlichte ein wenig kleiner als im übrigen Theile des dunklen Raumes. Dasselbo geht auch aus den Beobachtungen in § 3 hervor.. Man kann also die Möglichkeit einer von der Kathode ausgehenden, den Widerstand vermindernenden Strahlung nicht ausschliessen, welche weiter in den dunklen Raum als das sichtbare Kathodenlicht eindringt und ihre Wirkung bei den erwähnten Drucken etwa 2 cm vor die Kathode erstreckt. Von dieser Kathodenstrahlung ist schon früher (§ 4) gesprochen. Möglich ist auch, dass dieselbe eine der Ursachen ist, dass, nachdem die Entladung einmal angefangen, die zum Durchtreiben der Electricität nöthige Potentialdifferenz zwischen den Electroden nicht so gross zu sein braucht, wie zur ersten Einleitung der Entladung. Weiter werden wahrscheinlich, obgleich die Wirkung der erwähnten Strahlung hier ganz klein ist, die im vorigen Paragraphen angegebenen Werthe für den Uebergangswiderstand an den

---

1) Hertz, Wied. Ann. 31. p. 983. 1887.

Ann. d. Phys. u. Chemie. N. F. XXXVIII.

Electroden ein wenig zu klein. Bei Extrapolation des Werthes r_0 (der Widerstand bei 0 cm Schlagweite) wird nämlich der Widerstand in und vor dem Kathodenlicht zu gross genommen.

Von den besprochenen Veränderungen abgesehen, ist die Summe der Widerstände in den beiden Röhren, wenn die Summe der Schlagweite unverändert bleibt, sehr constant. *Der Widerstand einer Luftsäule ist also derselbe, sei es, dass die Säule zwischen den einen oder den anderen Electroden eingeschaltet ist.* Dies bekräftigt also, dass der Widerstand der Luft in § 5 richtig berechnet ist und an und für sich, ohne Zusammenhang mit etwas anderem, angegeben werden kann. Nur die Lichterscheinungen wirken, wie oben gezeigt, auf den Gaswiderstand ein und sind bei Bestimmung desselben zu beachten.

Ohne mich auf eine Discussion der verschiedenen electrischen Theorien einzulassen, will ich auf Grund der gemachten Untersuchungen einige Gesichtspunkte in Bezug auf die Frage der Fortpflanzung der Electricität und des galvanischen Widerstandes der Gase und der festen Leiter hervorheben. Besonders soll die von Edlund¹⁾ aufgestellte unitarische Theorie beachtet werden.

Alle Physiker stimmen darin überein, dass sie ein oder mehrere electrische Fluida von extremer Beweglichkeit voraussetzen. Nach der Theorie Edlund's bildet, wie bekannt, der Lichtäther dieses Fluidum. Die Electricität eines Körpers besteht in einem Ueberschuss oder Mangel an Aether relativ die Umgebung; der galvanische Strom in einer translatorischen Bewegung des freien Aethers in dem Leiter. Der galvanische Widerstand wird als ein Gegendruck (contrepression) gegen den in Bewegung gesetzten Aether aufgefasst. Weil nun der Widerstand der festen Leiter dem Querschnitt derselben umgekehrt proportional ist, findet Edlund den allgemeinen dynamischen Principien gemäss, ohne dem Aether einige neue Eigenschaften zuzuschreiben, oder andere, wie z. B. Trägheit, zu versagen, dass der Widerstand in den festen und flüssigen Leitern der Stromstärke proportional

1) Edlund, K. Sv. Akad. Handl. 12. 1873.

ist. Den Widerstand bei der Stromstärke Eins nennt Edlund den Hauptwiderstand (*résistance principale*) und leitet so das Ohm'sche Gesetz $i = E/R$ ab, wo i die Stromstärke, E die electromotorische Kraft und R den Hauptwiderstand in der Leitung bezeichnen. Bei den Gasen, wo der Widerstand nicht von dem Querschnitt der Entladungsbahn abhängig ist, nimmt Edlund an¹⁾, dass der Widerstand constant, von der Stromstärke unabhängig sei, und leitet so die Formel $i = (E - r)/R$ ab, wo i , E und R dieselbe Bedeutung wie oben haben, r aber den Gaswiderstand bezeichnet.

In dieser Weise ist leicht zu erklären, warum bei den festen Leitern, wo der Widerstand bei unendlich kleiner Stromstärke unendlich klein wird, auch die kleinste electromotorische Kraft im Stande ist, einen Strom hervorzubringen, während bei den Gasen, wo der Widerstand als constant angenommen wird, die electromotorische Kraft eine gewisse Stärke erreichen muss, um diesen Widerstand überwinden und einen Strom durchtreiben zu können.

Bei der Stromverzweigung verhalten sich nach den Kirchhoff'schen Gesetzen die Intensitäten der Zweigströme zu einander umgekehrt wie die Widerstände der Zweige (die Hauptwiderstände nach Edlund). Sind also R und kR die Widerstände der Zweige, so sind ki und i die Stromintensitäten in denselben. Die galvanischen Widerstände werden also nach Edlund gleich $ki \times R$ und $i \times kR$ oder in den beiden Zweigen einander gleich.

Diese Auffassung gibt eine natürliche Erklärung der Verhältnisse bei der Stromverzweigung. Der Strom theilt sich so, dass der Widerstand in den beiden Zweigen gleich wird. Wäre dagegen der Widerstand constant, so ist schwer zu fassen, warum nicht die ganze Electricitätsmenge durch den Zweig strömt, wo der Widerstand kleiner ist. Dies ist auch unter analogen Verhältnissen bei den Gasen der Fall, wo nach Edlund's Annahme die Widerstände constant sind.

Bei den in dieser Abhandlung beschriebenen Versuchen hatte ich eine Zweigleitung, in dem einen Zweige aber einen Gasraum, die Entladungsröhre, in dem anderen, in der Brücke

1) Edlund, Bihang till K. Sv. Vet. Akad. Handl. 6. 1881.

zwischen den Electroden, einen gewöhnlichen Rheostatenwiderstand, die Cadmiumjodidröhren, eingeschaltet. (Die Polarisation in der Cadmiumjodidlösung kommt hier nicht in Betracht.)

Angenommen nun, dass der Widerstand (K) des Gases constant, der Widerstand in der Brücke dagegen der Stromstärke (s) proportional, also gleich sR ist, so muss, wenn das Princip der Gleichheit der Widerstände der Zweige aufrecht gehalten werden soll, der Strom sich so zwischen den beiden Zweigen theilen, dass die Widerstände sR und K einander gleich werden oder, wenn dies nicht möglich, der Strom ausschliesslich durch den Zweig gehen, wo der Widerstand kleiner ist. Bei schwacher Stromstärke, wobei der galvanische Widerstand sR in der Brücke kleiner ist, als der constante Widerstand K der Entladungsröhre, muss also der ganze Strom durch die Brücke gehen. Wenn aber, bei Vergrösserung der Zahl der Elemente, die Stromstärke s in der Brücke so wächst, dass $sR = K$ wird, muss der Strom anfangen, auch durch die Entladungsröhre zu gehen, und wenn dann die electromotorische Kraft der Batterie noch mehr verstärkt wird, kann der Strom nur im Entladungsrohr, nicht aber in der Brücke wachsen, wo der Widerstand sR seinen Maximalwerth K schon erreicht hat.

Gerade so verhält es sich bei meinen Versuchen. Bei kleiner Stromstärke geht der Strom ausschliesslich durch die Brücke zwischen den Electroden. Bei wachsender electromotorischer Kraft fängt aber der Strom an, auch durch die Entladungsröhre zu gehen, und wenn dann die Zahl der Elemente noch mehr vergrössert wird, wächst der Strom ausschliesslich in der Entladungsröhre, gar nicht aber in der Brücke. Bei den Drucken 1,73, 6,0 und 11,6 mm z. B., wo weder der Uebergangswiderstand, noch die Erwärmung des Gases störend einwirken, ist also, nachdem die Entladung begonnen hat, die Stromstärke in der Brücke bei Vergrösserung der Zahl der Elemente möglichst constant. Während z. B. bei 4 cm Schlagweite bei 11,6 mm Druck die Stromstärke in der Entladungsröhre zu 1000, 2000, 10000 und 27000×10^{-6} Ampère wächst, bleibt die Stromstärke in der Brücke constant zwischen 25,0 und $25,5 \times 10^{-6}$ Ampère.

Die Resultate dieser Untersuchungen stehen also in vollem Einklange zu der Annahme, durch welche sie selbst auch in der natürlichsten Weise erklärt werden, dass der Leitungswiderstand der Gase constant, der Widerstand der festen Leiter dagegen der Stromstärke proportional ist.

Helsingfors, im Juni 1889.

Erklärung zu Figur 2—6.

Die Abscissen bezeichnen die Stärke des durch die Entladungsröhre gehenden Stromes in 10^{-6} Ampère.

Die Ordinaten die Potentialdifferenz zwischen den Electroden der Entladungsröhre in Volt.

Die Curven, welche sich auf die Versuche mit den Aluminiumelectroden beziehen, sind voll ausgezogen, diejenigen für die Versuche mit den Platinelectroden unterbrochen gezeichnet.

Die Zahl neben jeder Curve gibt den Abstand zwischen den Electroden bei den entsprechenden Versuchen an.

III. Ueber das Spectrum der Gase bei tiefen Temperaturen; von K. R. Koch.

(Hierzu Taf. II Fig. 7.)

Da bekanntlich das Spectrum der Gase in hohem Grade von der Temperatur derselben abhängt, so schien es mir von Interesse zu sein, zu untersuchen, welchen Einfluss es auf ein Gasspectrum habe, wenn man das Gas auf -80 bis 100° C. abkühlte. Es schien mir diese Untersuchung besonders wichtig in Bezug auf die Beziehung des Spectrums des Polarlichtes zu dem der Luft zu sein. Es tritt nämlich im Spectrum des Polarlichtes ausser jenen Linien, welche mit Linien der Luft, resp. des Stickstoffs zusammenzufallen scheinen, regelmässig bei allen Erscheinungen eine Linie im Gelbgrün auf ($\lambda = 557$), welche bis vor kurzer Zeit noch nicht im Luftspectrum beobachtet war; erst in neuester Zeit hat Hr. Wüllner¹⁾ in einem weiten Rohr mit Längsdurchsicht im Stickstoff-, resp. Luftspectrum eine Linie beobachtet und gemessen, die mit der grüngelben Polarlichtlinie

1) Wüllner, Ber. d. Berl. Acad. 1889.