**12. Ueber charakteristische Curven bei der
elektrischen Entladung durch verdünnte Gase;
von Eduard Riecke.**

1. Wenn ein elektrischer Strom durch eine mit einem verdünnten Gase gefüllte Geissler'sche Röhre hindurchgeht, so tritt an Stelle des Ohm'schen Gesetzes eine sehr viel complicirtere Beziehung zwischen der Stromstärke und der Spannungsdifferenz der Elektroden. Es ist bis jetzt nicht möglich bei gegebener Spannungsdifferenz die Stromstärke aus der Natur des eingeschlossenen Gases, dem Grade seiner Verdünnung, aus der Form des Gefässes mit Hülfe allgemeiner Formeln zu berechnen; man ist vielmehr in jedem einzelnen Falle auf die empirische Ermittlung jenes Zusammenhanges angewiesen. Bei einer gegebenen Röhre wird man so für jeden Grad der Verdünnung eine Curve construiren können, durch welche die Spannungsdifferenz der Elektroden als Function der Stromstärke gegeben wird. Mit Benutzung einer in der Elektrotechnik gebräuchlichen Bezeichnung kann man eine solche Curve eine „*Charakteristik*“ der Röhre nennen.¹⁾ Die folgenden Untersuchungen beziehen sich auf die Abhängigkeit der Charakteristik von der Verdünnung und auf die Veränderungen, welche sie durch magnetische Einflüsse erleidet. Die Resultate gelten natürlich zunächst nur für die bestimmte, bei den Versuchen benutzte Röhre; nach allem, was wir über Gasentladungen wissen, wird man ihnen aber doch eine etwas allgemeinere Bedeutung in qualitativer und zum Teil auch in quantitativer Hinsicht zuschreiben dürfen.

2. Die bei den Versuchen benutzte Röhre hatte die Gestalt einer Kugel von 5,9 cm Radius. Den verticalen Durchmesser der Kugel bezeichnen wir als ihre *Axe*, den Grosskreis, dessen Ebene zu der *Axe* senkrecht steht, als ihren *Aequator*. In einer Meridianebene der Kugel liegt eine feste, kreisförmige Elektrode, sodass ihr Mittelpunkt in der Ebene des Aequators

1) W. Kaufmann, Göttinger Nachr. p. 243. 1899.

sich befindet. Die Ebene der zweiten Elektrode geht ebenfalls durch die Axe; auch ihr Mittelpunkt liegt in der Ebene des Aequators; sie ist aber mittels eines Schliffstückes drehbar um die Axe. Bei den im Folgenden beschriebenen Versuchen war die drehbare Elektrode so gestellt, dass ihre Ebene mit der Ebene der festen einen Winkel von 90° bildete.

Fig. 1.

Die Entfernung der Mittelpunkte der beiden kreisförmigen Elektroden betrug dann etwa 6,5 cm. Die Röhre war mit Luft gefüllt.

3. Um den Einfluss eines Magnetfeldes auf den Verlauf der Charakteristik zu untersuchen, wurde ein cylindrischer Elektromagnet so vor der Röhre aufgestellt, dass seine Axe zusammenfiel mit dem Radiusvector, der von dem Mittelpunkt der Kugel zu dem Mittelpunkt der drehbaren Elektrode ging. Die Abmessungen im einzelnen ergaben sich aus Fig. 1, welche im Maassstabe 5:3 gezeichnet ist.

4. Wir gehen nun über zu der Untersuchung der *Charakteristiken*, welche erhalten werden, *ohne dass das Feld des Elektromagneten erregt wird*. Als Stromquellen dienten eine Töpler'sche Influenzmaschine mit 40 rotirenden Scheiben und ein Hochspannungsaccumulator von 1008 Elementen. Bei Benutzung der Influenzmaschine wurde die Stromstärke theils durch Aenderung der Umdrehungsgeschwindigkeit, theils durch Nebenschaltung eines Jodcadmiumwiderstandes variirt. Bei Verwendung des Accumulators wurde eine Aenderung der Stromstärke in sehr viel weiteren Grenzen durch Vorschaltung von fünf Jodcadmiumröhren in acht verschiedenen Combinationen erreicht. Die Stromstärke wurde teilweise mit einer Tangentenbussole, teilweise mit einem Ampèremeter gemessen, die Spannungsdifferenz der Elektroden mit einem Braun'schen Elektrometer, dessen Reductionsfactor auf Volt gleich 1,225 war. Zum Evacuiren diente eine Töpler'sche Ventilluftpumpe; die Druckmessungen geschahen bei grösseren Verdünnungen nach der von Bessel-Hagen angegebenen Methode; das Volumen der Pumpenkugel betrug 1060 ccm, das Volumen eines 1 cm langen Stückes der Auslassröhre 0,040 ccm, das Volumen des Vorvacuums 21,1 ccm.

Die Resultate der Beobachtungen sind in Tab. I zusammengestellt; der Uebersichtlichkeit halber sind die unmittelbar

Tabelle I.

$i \cdot 10^5$ Amp.	Spannungsdifferenz V der Elektroden in Volt für den Druck in Millimetern Quecksilber										
	14,6	10,2	5,0	2,53	1,26	0,54	0,38	0,21	0,085	0,033	0,027
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	955	1000
10	—	—	922	575	400	—	—	—	597	1220	1720
20	—	—	560	453	320	311	360	360	755	1680	—
40	—	—	433	385	317	359	404	434	947	—	—
80	—	—	417	—	322	440	517	578	1330	—	—
120	738	612	425	370	352	546	622	723	—	—	—
160	740	618	440	368	392	660	700	875	—	—	—
200	755	630	445	369	412	710	760	—	—	—	—
600	—	—	—	—	—	—	1235	—	—	—	—
700	—	—	—	—	—	1120	—	—	—	—	—
1100	—	—	—	—	754	—	—	—	—	—	—
1200	—	—	493	513	—	—	—	—	—	—	—

beobachteten Werte auf gleiche Stromstärken reducirt; die Reduction geschah auf graphischem Wege, und es wurden die Stromstärken der Tabelle so ausgewählt, dass die durch Reduction erhaltenen Werte den wirklich beobachteten möglichst nahe lagen.

Eine graphische Darstellung der Resultate ist in Fig. 2 gegeben; dabei sind die durch die Beobachtungen gegebenen Wertpaare durch Punkte markirt.

Bei den Drucken von 14,6 mm und 10,2 mm diente die Influenzmaschine als Stromquelle, da hier die Spannung der Accumulatoren unzureichend war. Bei den Drucken von 0,21 mm an abwärts wurden grössere Stromstärken nicht benutzt, um eine schädliche Erwärmung der Elektroden zu vermeiden.

Der Druck in der Kugel wurde schliesslich noch auf 0,010 mm erniedrigt; zur Erzeugung der Ströme musste jetzt wieder die Influenzmaschine benutzt werden. Eine Stromstärke von $47 \cdot 10^{-5}$ Amp. entsprach jetzt einer Spannungsdifferenz von 3980 Volt, einer Stromstärke von $130 \cdot 10^{-5}$ Amp. eine Spannungsdifferenz von 5820 Volt. Indes machte sich schon bei diesen Strömen eine allmähliche Verschlechterung des Vacuums geltend. Bei stärkeren Strömen nahm diese so erheblich zu, dass auf eine Fortsetzung der Versuche verzichtet wurde.

5. Die Art und Weise, wie die *Änderung der Charakteristiken in einem Magnetfeld* untersucht wurde, möge an einem speciellen Beispiele erläutert werden.

Der Druck in der Kugel ergab sich zu 0,45 mm. Es wurde nun ein bestimmter Jodcadmiumwiderstand vorgeschaltet, und der Strom der Accumulatorenatterie durch die Kugel geschlossen, wobei die Elektrode *A* der Fig. 1 Kathode war. Es ergaben sich die zusammengehörenden Werte von Stromstärke und Spannungsdifferenz:

$$i = 11,77 \cdot 10^{-5} \text{ Amp.}, \quad e_0 = 330 \text{ Volt.}$$

Nun wurde, während der Widerstand im äusseren Kreise derselbe blieb, der Elektromagnet erregt, und zwar so, dass sein Nordpol stets der Kugel zugewandt blieb. Es wurden dabei vier verschiedene Stromstärken zuerst in aufsteigender, dann in absteigender Ordnung verwandt und jedesmal die zugehörenden Einstellungen des Voltmeters abgelesen. So ergaben sich die folgenden zusammengehörenden Werte der

Fig. 2.

Stärke J des magnetisirenden Stromes und der Spannungsdifferenz e der Elektroden:

J , Amp.	0,5	1,74	3,88	5,38	3,90	1,77	0,5
e , Volt	350	356	368	416	374	361	350

Wurde der magnetisirende Strom unterbrochen, so stellte sich die Stromstärke wieder auf $11,78 \cdot 10^{-5}$ Amp., die Spannungsdifferenz e_0 der Elektroden auf 328 Volt.

Dieselben Beobachtungen wurden nun mit anderen vorgeschalteten Jodcadmiumwiderständen wiederholt.

Eine zweite Beobachtungsreihe wurde angestellt, bei welcher die Elektrode A als Anode benutzt wurde. Bei einer dritten Beobachtungsreihe wurde die Elektrode A wieder zur Kathode gemacht.

Nach dem Abschluss der Beobachtungen wurde der Druck in der Kugel von neuem bestimmt; er war auf 0,38 mm gesunken. Im Mittel kann also für die vorliegenden Beobachtungen der Druck gleich 0,41 mm gesetzt werden. Bei grösseren Drucken war eine solche Veränderung der Gasdichte durch den Strom selbst nicht beobachtet worden.

Die Charakteristiken für die verschiedenen Magnetfelder können mit Hülfe einer einfachen Construction gefunden werden. Bezeichnen wir die Klemmenspannung der Accumulatorenbatterie durch E , die Spannungsdifferenz der Elektroden durch e , den äusseren Widerstand durch w , die Stromstärke durch i , so ist

$$E - iw = e.$$

Wir benutzen die i als Abscissen, die e als Ordinaten in einem rechtwinkligen Coordinatensystem. Wenn E und w constant bleiben, so liegen alle zusammengehörenden Werte von e und i auf einer Geraden, welche durch den Punkt E der Axe e der Spannungen hindurchgeht. Ein weiterer Punkt dieser Geraden ist aber dadurch gegeben, dass bei nichterregtem Felde zwei zusammengehörende Werte von i und e bestimmt worden sind, z. B. $i = 11,77 \cdot 10^{-5}$ Amp. und $e = e_0 = 329$ Volt. Verbinden wir also den Punkt E der Spannungsaxe mit dem durch die Werte i und e_0 bestimmten Punkt, so liegen alle Punkte, welche bei gleichem äusseren Widerstande zusammengehörende Werte von i und e darstellen, auf der Verbindungslinie. Wir erhalten somit Punkte der den verschiedenen Magnetfeldern entsprechen-

den Charakteristiken, wenn wir auf der Verbindungslinie die Punkte suchen, deren Abstände von der Axe i der Stromstärken gleich den beobachteten Spannungsdifferenzen e sind.

Die Resultate der Beobachtungen sind in den Tab. II und III zusammengestellt. Tab. II bezieht sich auf den Fall, dass die Elektrode A Kathode war. Von den unmittelbar untereinanderstehenden Zahlen gehört die obere stets der ersten, die untere der zweiten Beobachtungsreihe an. Die mit J überschriebene Verticalcolumnne enthält die Stärke des magnetisirenden Stromes in Ampères. Der leichteren Vergleichbarkeit halber sind aus den Beobachtungen der Tab. II die Mittel genommen und in Tab. IV zusammengestellt.

Tabelle II.

Elektrode A Kathode. Druck 0,41 mm.

J	11,8 11,6	22,2 21,6	37,0 36,0	79,7 78,5	123,1 121,3	150,0 146,1	190,8 185,2	570 540	$i \cdot 10^6$ (Amp.)
0	330 332	357 354	374 370	488 473	600 594	665 660	741 745	1210 1230	e_0
0,5	348 336	351 348	367 361	465 422	531 497	606 587	670 651	1017 1030	e
1,7	358 349	366 352	368 343	425 373	490 450	529 496	582 557	780 786	
3,8	370 376	392 382	407 376	447 400	490 456	527 490	547 527	651 651	
5,3	416 416	429 416	454 429	484 446	521 490	551 496	576 551	637 650	

Tabelle III.

Elektrode A Kathode. Druck 0,41 mm.

J	Spannung der Accumulatoren 1975 Volt Stärke des Entladungsstromes für $J = 0$, $i \cdot 10^{-5}$ Amp.							
	11,7	21,8	36,4	77,3	116,4	143,0	186,2	570
0	363	372	419	518	620	684	735	1151 e_0
0,5	368	386	422	528	619	682	737	1128
1,7	380	404	435	531	619	675	730	1101
3,8	478	474	484	559	615	657	707	980
5,3	496	496	515	606	661	699	716	961

Tabelle IV.
Elektrode A Kathode. Druck 0,41 mm.

J	Spannung der Accumulatoren 1985 Volt Stärke des Entladungsstromes für $J = 0, i \cdot 10^{-5}$ Amp.							
	11,7	21,9	36,5	79,1	122,2	148,0	188,0	555
0	331	355	372	480	597	662	743	1220 e_0
0,5	342	350	364	443	514	596	660	1023
1,7	353	359	355	399	470	512	569	783
3,8	373	387	391	423	473	508	537	651
5,3	416	422	441	465	505	523	563	643

Die graphischen Darstellungen der Beobachtungen, die Charakteristiken der Kugel mit und ohne Erregung des Magnetfeldes für den Druck von 0,41 mm sind in den Figg. 3 und 4

Fig. 3.

gegeben. Den Tab. III und IV, auf Grund deren die Figuren construiert worden sind, haftet eine gewisse Zufälligkeit an, sofern die in ihnen aufgeführten Spannungsdifferenzen von der

Spannung der benutzten Accumulatoren-batterie abhängig sind.
Wir eliminiren diese Zufälligkeit, wenn wir die Spannungs-

Fig. 4.

differenzen, welche verschiedenen Magnetfeldern entsprechen, auf gleiche Stromstärken reduciren. Dies ist geschehen in den Tab. V und VI.

Tabelle V.

Elektrode A Anode. Druck 0,41 mm.

$i \cdot 10^5$ Amp.	Stärke des magnetisirenden Stromes in Ampères				
	0	0,5	1,7	3,8	5,3
20	393	393	405	475	500
40	438	438	460	500	540
80	530	530	547	567	620
120	632	632	632	624	670
160	704	704	698	678	700
200	753	753	738	713	720
600	1180	1130	1093	933	912

Tabelle VI.

Elektrode A Kathode. Druck 0,41 mm.

$i \cdot 10^5$ Amp.	Stärke des magnetisirenden Stromes in Ampères				
	0	0,5	1,7	3,8	5,3
20	356	356	352	380	420
40	392	382	362	392	435
80	490	447	400	423	468
120	587	505	455	460	512
160	687	600	502	498	547
200	753	658	559	527	561
600	1288	960	700	597	607

Diese Tabellen geben endlich Veranlassung zu einer graphischen Darstellung, aus welcher der Einfluss des Magnetfeldes auf die Charakteristik noch einfacher zu erkennen ist. Wir berechnen die Differenzen zwischen den Spannungsdifferenzen im Magnetfeld und denen, welche bei gleicher Stärke des Stromes i ohne Magnetfeld auftreten. Tragen wir diese Differenzen als Functionen der Stromstärke i in das Coordinatennetz ein, so erhalten wir die Figg. 5 und 6. Man kann sich die Curven dieser Figuren auch durch den folgenden Process entstanden denken.

Wir nehmen an, die Punkte der in den Figg. 3 und 4 gezeichneten Curven seien beweglich in der Richtung der Axe e . Die Beweglichkeit sei aber an die Bedingung gebunden, dass die Punkte verschiedener Curven, welche auf einer Parallelen zu e liegen, in unveränderlichen Entfernungen bleiben. Man verschiebt dann in den Figg. 3 und 4 die Punkte der Curven, e_0 , welche ohne Erregung des Magnetfeldes erhalten wurden, so, dass sie mit der Axe der Stromstärken zusammenfallen; dann nehmen die übrigen Curven die in den Figg. 5 und 6 gezeichneten Formen an.

In den Figg. 3 und 4 sind die Curven bei nichterregtem Felde stark, die Curven, welche der Stärke 0,5 Amp. des magnetisirenden Stromes entsprechen, schwach ausgezogen. Für den magnetisirenden Strom 1,7 Amp. ist die Curve gestrichelt, für 3,8 Amp. strich-punktirt; dem Strome 5,8 Amp. entspricht die Curve — · · —.

Die Einwirkung des Magnetfeldes kann man nun dadurch beschreiben, dass man sagt: die ohne Magnetfeld auftretende

Fig. 5.

Fig. 6.

Curve e_0 wird durch ein Magnetfeld im Sinne des Uhrzeigers gedreht. Die Drehung nimmt zu mit der Stärke des Feldes, und

gleichzeitig rückt der Drehpunkt auf der Curve e_0 im Sinne wachsender Stärken des Entladungsstromes fort.

Der Vergleich der Curven, Figg. 3 und 5 einerseits, der Curven, Figg. 4 und 6 andererseits zeigt, dass die Drehung sehr viel stärker ist, wenn A zur Kathode gemacht wird; zugleich liegen in diesem Falle die Drehpunkte der Curven dem Anfangspunkt der Axe i sehr viel näher.

6. Die Gesamtheit der bisher mitgetheilten Beobachtungen legt die folgenden Schlüsse nahe. Der Einfluss des Magnetfeldes setzt sich aus zwei Theilen zusammen, von denen der eine auf den anodischen, der andere auf den kathodischen Teil der Entladung zu beziehen ist. Die Wirkung auf die positive Entladung bedingt eine Erhöhung des Entladungspotentiales, die auf die negative Entladung eine Verminderung. Beide Wirkungen hängen von der Stärke des Entladungsstromes in verschiedener Weise ab, sodass bei schwachen Strömen die erhöhende Wirkung auf die positive Entladung bei starken Strömen die erniedrigende Wirkung auf die negative Entladung überwiegt.

Es giebt daher stets eine bestimmte Stärke des Entladungsstromes, bei der das Magnetfeld keinen Einfluss auf das Entladungspotential hat; die hierzu erforderliche Stromstärke wächst mit der Feldintensität.

Die Wirkung des Magnetfeldes auf die positive Entladung besteht in einer Verlängerung der Strombahn, unter Umständen auch in einer Verkleinerung ihres Querschnittes. Beide Umstände bedingen eine Vergrößerung der Spannungsdifferenz. Die Wirkung des Magnetfeldes auf die negative Entladung besteht in einer Contraction des Kathodendunkelraumes und des Glimmlichtes, welche bei stärkeren Feldern sehr bedeutend ist. Damit muss eine Verminderung des Kathodengefälles Hand in Hand gehen.

7. Die im Vorhergehenden gewonnenen Sätze werden durch Beobachtungen bei anderen Graden der Verdünnung bestätigt und ergänzt.

Bei höheren Drucken hatte das Magnetfeld nur einen kleinen Einfluss auf das Entladungspotential. Bei dem Drucke von 14,6 mm wurde das Entladungspotential um 6 Volt ver-

grössert, wenn die Stärke des magnetisirenden Stromes 1,7 Amp. betrug. Bei einem Drucke von 10,2 mm hatte derselbe magnetisirende Strom eine Erhöhung des Entladungspotentiales um 16 Volt zur Folge.

Für den Druck von 5,0 mm sind die Resultate der Beobachtungen in den beiden folgenden Tab. VII und VIII zusammengestellt. Die charakteristischen Curven sind dann noch in den Figg. 3 und 3 gezeichnet. Dabei entspricht die gestrichelte Curve einem magnetisirenden Strom von 1,8 Amp., die punktirte einem solchen von 2,7 Amp., die strich-punktirte einem Strom von 3,8 Amp.

Tabelle VII.

Elektrode *A* Anode. Druck 5,0 mm.

$i \cdot 10^5$ Amp.	Stärke des magnetisirenden Stromes in Ampères			
	0	1,8	2,7	3,8
20	560	637	670	725
40	433	530	581	635
80	417	467	490	545
120	425	465	478	508
160	440	525	526	563
200	445	526	528	563
1200	493	550	572	570

Tabelle VIII.

Elektrode *A* Kathode. Druck 5,0 mm.

$i \cdot 10^5$ Amp.	Stärke des magnetisirenden Stromes in Ampères			
	0	1,8	2,7	3,8
20	560	748	791	829
40	433	624	683	745
80	417	604	643	703
120	425	563	600	647
160	440	518	555	595
200	445	520	556	597
1200	493	530	587	628

Fig. 7.

Fig. 8.

Ueber die Verhältnisse, wie sie sich bei einer Reihe von weiteren Drucken gestalten, geben die Tab. IX—XVIII, die Figg. 9—18 Aufschluss. Curven und Stärken der magnetischen neuen Ströme sind einander in folgender Weise zugeordnet:

Stromstärke: 0 0,5 1,8 2,8 3,8 5,3
 Curve: ——— ——— ——— ——— ——— ———

Tabelle IX.

Elektrode A Anode. Druck 2,51 mm.

$i \cdot 10^5$ Amp.	Stärke des magnetisirenden Stromes in Ampères			
	0	1,8	2,7	3,8
20	450	485	525	544
40	371	423	464	505
80	394	455	489	535
120	380	460	516	555
160	365	411	467	505
200	349	376	430	466
1200	502	520	590	631

Tabelle X.

Elektrode A Kathode. Druck 2,51 mm.

$i \cdot 10^5$ Amp.	Stärke des magnetisirenden Stromes in Ampères			
	0	1,8	2,7	3,8
20	555	630	711	765
40	458	625	719	765
80	440	606	691	735
120	401	550	632	692
160	367	486	575	635
200	358	440	575	635
1200	542	555	585	608

Tabelle XI.

Elektrode A Anode. Druck 1,26 mm.

$i \cdot 10^5$ Amp.	Stärke des magnetisirenden Stromes in Ampères			
	0	1,8	2,8	3,8
20	320	358	368	377
40	317	365	374	408
80	322	370	400	444
120	352	410	465	487
160	392	431	505	542
200	424	490	546	596
1000	700	700	736	739

Tabelle XII.

Elektrode A Kathode. Druck 1,26 mm.

$i \cdot 10^5$ Amp.	Stärke des magnetisirenden Stromes in Ampères			
	0	1,8	2,8	3,8
20	320	378	422	482
40	317	378	426	490
80	322	378	465	520
120	352	416	477	518
160	392	466	496	551
200	424	478	512	558
1000	700	600	600	628

Tabelle XIII.

Elektrode *A* Anode. Druck 0,21 mm.

$i \cdot 10^5$ Amp.	Stärke des magnetisirenden Stromes in Ampères				
	0	0,5	1,7	3,8	5,3
20	360	365	375	435	500
40	434	439	446	465	526
80	578	582	572	539	587
120	723	726	700	635	665
160	875	878	805	716	745

Tabelle XIV.

Elektrode *A* Kathode. Druck 0,21 mm.

$i \cdot 10^5$ Amp.	Stärke des magnetisirenden Stromes in Ampères				
	0	0,5	1,7	3,8	5,3
20	360	328	344	367	401
40	434	383	370	416	440
80	578	510	435	505	521
120	723	615	514	570	600
160	875	716	581	635	675

Tabelle XV.

Elektrode *A* Anode. Druck 0,08 mm.

$i \cdot 10^5$ Amp.	Stärke des magnetisirenden Stromes in Ampères				
	0	0,5	1,7	3,8	5,3
10	597	577	557	615	661
20	755	699	639	689	748
40	947	882	816	795	842
80	1330	1250	1077	947	990

Tabelle XVI.

Elektrode *A* Kathode. Druck 0,08 mm.

$i \cdot 10^5$ Amp.	Stärke des magnetisirenden Stromes in Ampères				
	0	0,5	1,7	3,8	5,3
10	597	478	465	540	600
20	755	588	568	613	659
40	947	730	686	690	720
80	1330	955	890	792	825

Tabelle XVII.

Elektrode A Anode. Druck 0,03 mm.

$i \cdot 10^5$ Amp.	Stärke des magnetisirenden Stromes in Ampères				
	0	0,5	1,7	3,8	5,3
5	955	796	—	—	—
10	1220	1040	821	813	868
20	1680	1370	1115	970	965
30	—	1630	1390	1110	1100
40	—	—	—	1230	1220

Fig. 9.

Fig. 10.

Tabelle XVIII.

Elektrode A Kathode. Druck 0,03 mm.

$i \cdot 10^5$ Amp.	Stärke des magnetisirenden Stromes in Ampères				
	0	0,5	1,7	3,8	5,3
5	955	—	—	785	859
10	1220	735	746	860	930
20	1680	925	858	970	1040
30	—	1060	943	1050	1170
40	—	1190	1007	1120	1270

8. Die Beobachtungen gaben Veranlassung zu den folgenden Bemerkungen. Bei höheren Drucken zieht sich das nega-

Fig. 11.

Fig. 12.

tive Glimmlicht auf eine dünne Schicht zusammen, welche die Kathode nur teilweise bedeckt. Man wird also vermuten, dass

in diesem Falle wesentlich nur die Wirkung zur Geltung kommt, welche von dem Magnetfeld auf den positiven Teil der

Fig. 13.

Fig. 14.

Entladung ausgeübt wird. In der That zeigen die Figg. 7—10, den Drucken von 5 und von 2,5 mm entsprechend, nur eine

Vergrosserung der Entladungsspannung durch den Magnet. Es fällt aber auf, dass die Wirkung entschieden stärker ist, wenn

Fig. 15.

Fig. 16.

Fig. 17.

Fig. 18.

die vordere Elektrode *A* zur Kathode gemacht wird. Der Unterschied weist auf eine Asymmetrie der Wirkungen hin,

die sich auch in der Entwicklung der Lichterscheinungen zeigt. Bei einem Druck von 5 mm war die Lichterscheinung im allgemeinen auf zwei dünne Lichthäutchen beschränkt, welche einen Teil der Elektrodenoberfläche bedeckten, der Zwischenraum zwischen den Elektroden war dunkel. Nur wenn die Elektrode A Kathode war, traten bei schwachen Entladungsströmen, bis zu $30 \cdot 10^{-5}$ Amp., im Magnetfelde Büschel auf, welche stark nach unten gebogen die Elektroden verbanden. Bei einem Druck von 2,5 mm traten unter denselben Bedingungen Büschel auch dann auf, wenn die Elektrode A Anode war. Die Büschel waren jetzt nach oben gebogen, aber die Abweichung von der geradlinigen Bahn war geringer, als wenn A Kathode war. Es wäre hiernach möglich, dass die erwähnten Unterschiede der Entladespannung in einer verschiedenen Länge der Strombahn ihren Grund hätten.

Auf die Existenz einer *Wirkung, welche die Entladungsspannung verkleinert*, weisen die Curven der Fig. 10 hin. Die geradlinigen Verlängerungen der Curven schneiden sich etwa bei einer Stromstärke von $i = 1200 \cdot 10^{-5}$ Amp. Man kann vermuten, dass bei noch grösseren Stromstärken das Magnetfeld eine Verkleinerung der Entladungsspannung bewirken würde. Da der convergirende Verlauf der Charakteristiken zunächst nur eintritt, wenn A Kathode ist, so wird man eine wirkliche Durchkreuzung zuerst in diesem Felde erwarten. Dies wird bestätigt durch die Figg. 11 und 12, welche dem Druck von 1,26 mm entsprechen. Dabei macht sich bei schwachen Strömen die Asymmetrie der Wirkung noch immer geltend; die anfängliche Vergrößerung der Spannung ist stärker, wenn A Kathode, als wenn A Anode ist. In Fig. 12 liegen die Schnittpunkte der im Magnetfeld erhaltenen Charakteristiken mit der Curve e_0 zwischen $i = 500 \cdot 10^{-5}$ Amp. und $i = 670 \cdot 10^{-5}$ Amp. Die Beobachtungen, welche der nächsten Verdünnung mit dem Druck 0,41 mm entsprechen, sind zu Anfang ausführlich besprochen. *Die Durchkreuzung der Charakteristiken*, die wechselseitige Compensation der magnetischen Wirkungen, tritt jetzt unter allen Umständen ein. Ist A Anode, so liegen die Kreuzungspunkte der Charakteristiken wie der Curve e_0 zwischen $i = 100 \cdot 10^{-5}$ Amp. und $i = 170 \cdot 10^{-5}$ Amp.; wenn A Kathode

ist, zwischen $10 \cdot 10^{-5}$ und $70 \cdot 10^{-5}$ Amp. Noch weiter im Sinne abnehmender Stromstärken verschieben sich die Kreuzungspunkte bei den Drucken von 0,21 und 0,08 mm. Im ersten Falle liegen die Punkte verschwindender magnetischer Wirkung zwischen $40 \cdot 10^{-5}$ und $84 \cdot 10^{-5}$ Amp., wenn A Anode ist, unter $40 \cdot 10^{-5}$ Amp., wenn A zur Kathode gemacht wird. Beim Drucke von 0,08 mm liegen die fraglichen Punkte unterhalb von $i = 20 \cdot 10^{-5}$ Amp., wenn A Anode ist, unterhalb von $i = 10 \cdot 10^{-5}$ Amp., wenn A Kathode ist. Bei einem Drucke von 0,03 mm war die Entladungsspannung im Magnetfeld unter allen Umständen kleiner, wie ohne magnetische Wirkung.

Man kann hiernach sagen, dass die Sätze, welche zunächst für einen Druck von 0,41 mm ausgesprochen wurden, durch die Beobachtungen bei anderen Verdünnungen durchaus bestätigt werden. Als neu tritt die Asymmetrie der magnetischen Wirkung auf den positiven Teil der Entladung hinzu, welche bei höheren Drucken sich bemerklich macht.

Der Punkt, in dem die einander entgegengesetzten magnetischen Wirkungen sich compensiren, der Kreuzungspunkt der Charakteristiken im Magnetfeld mit den Curven e_0 , liegt bei um so geringerer Stärke des Entladungsstromes, je geringer der Druck.

Die höchste Stromstärke, welche einem wirklich beobachteten Kreuzungspunkte entspricht, beträgt $670 \cdot 10^{-5}$ Amp. Sie tritt ein bei dem Drucke von 1,26 mm und bei einem magnetisirenden Strome von 3,8 Amp., wenn A Kathode ist. Die kleinste Stromstärke, bei der ein Kreuzungspunkt wirklich beobachtet wurde, beträgt $10 \cdot 10^{-5}$ Amp. Sie trat ein bei einem Drucke von 0,08 mm und bei einem magnetisirenden Strome von 5,3 Amp., während A Kathode war.

Die Resultate der Versuche stimmen im wesentlichen überein mit den Beobachtungen von Paalzow und Neesen.¹⁾

Unter gewissen Umständen haben diese beiden Forscher *Maxima der magnetischen Wirkung* beobachtet. Solche Maxima müssen notwendig, und zwar bei gewissen mittleren Stärken der Entladungsströme, auftreten, wenn bei kleinen Stromstärken die Spannung mit dem Strome steigt, während sie bei starken

1) A. Paalzow und F. Neesen, Wied. Ann. **63**, p. 209. 1897.

Strömen mit zunehmendem Strome abnimmt. Gute Beispiele hierfür geben die Figg. 3 und 4; aber auch die folgenden Figuren weisen solche Maxima auf; nur sind bei ihnen die Charakteristiken nicht so weit verfolgt, dass eine vollkommene Umkehr in der Reihenfolge der Curven eintritt.

9. Der *Charakter der Entladungen* wurde mit einem rotirenden Spiegel und durch Einschaltung eines sehr empfindlichen, laut sprechenden Telefons von Siemens geprüft.

Die positive Entladung erzeugte im *rotirenden Spiegel* unter allen Umständen einen rötlichen Ring von vollkommen gleichmässiger Helligkeit. Nur in den bei den Drucken von 5 mm und 2,5 mm erwähnten Fällen, wo bei kleinen Stromstärken im Magnetfelde büschelförmige Entladungen auftraten, änderte sich das Bild. Zu dem rötlichen Ringe traten noch scharf getrennte Funken; ihre Zahl konnte leicht bestimmt werden, indem man gleichzeitig mit dem Bilde der Entladung das Bild einer singenden Flamme im rotirenden Spiegel beobachtete; sie betrug 100—300 in der Secunde.

Auch der blaue Ring, der durch das Kathodenglimmlicht im rotirenden Spiegel erzeugt wurde, zeigte in der Regel eine vollkommen gleichmässige Helligkeit. Nur wenn bei höheren Drucken das bekannte Flackern des Glimmlichtes eintrat, zeigten sich auf dem gleichmässigen Grunde des Lichtringes, mehr oder weniger regelmässig verteilt, hellere Punkte. Ihre Anzahl in der Secunde schwankte von 50 bis über 2000. Es ergab sich aber dabei noch eine eigentümliche Beobachtung. Das Glimmlicht blieb nicht auf die eine Fläche der Kathode beschränkt, sondern ging beinahe immer auch auf die andere Fläche hinüber. Man konnte nun im rotirenden Spiegel entweder die der Anode zugewandte Vorderseite, oder die davon abgewandte Rückseite der Kathode beobachten. Im letzteren Falle erwies sich das Glimmlicht unter allen Umständen als stetig; hellere Punkte im Lichtkreise fielen nur auf der Vorderseite der Elektrode auf.

Die Untersuchung mit dem *Telephon* zeigte, dass die Entladungsströme doch nur in verhältnismässig wenig Fällen wirklich stetig waren. Bei höheren Drucken schwieg das Telephon nie still, sondern erzeugte, je nach der Art des Entladungsstromes, ein ziemlich lautes Brausen oder ein leises, gleich-

mässiges Summen. Erst bei einem Druck von 0,41 mm schwieg das Telephon in der Regel bei mittleren Stromstärken, doch stellte sich zuweilen auch da leises Summen ein. Bei dem Druck von 0,21 mm waren die Entladungen meist stetig; nur in wenigen Fällen wurde ein leises Summen des Telephons gehört. Auch bei den Drucken von 0,08 und 0,03 mm hatten die Entladungen im wesentlichen den Charakter der Stetigkeit.

10. Ueber die *Beschaffenheit des Magnetfeldes* giebt Fig. 1 Aufschluss. Die ausgezogenen Linien, welche die Kraftlinien durchkreuzen, sind Linien gleicher Feldstärke. Die Werte der Feldstärken, deren Messung ich Hrn. Dr. Stark verdanke, sind für die hauptsächlich verwandten magnetisirenden Ströme in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle XIX.

Intensitäts- curve	Stärke des magnetisirenden Stromes (Ampères)			
	0,5	1,7	3,8	5,3
I	45	139	322	455
II	33	105	233	333
III	22	72	161	227
IV	15	50	111	155
V	11	33	78	111
VI	8	25	61	83

Die Beobachtungen wurden dadurch geprüft, dass die Werte der Feldintensität für die mit den Zahlen 1—5 bezeichneten Punkte der Intensitätscurven mit Hülfe der bekannten Eigenschaft der Potentialflächen aus den in der Axe gefundenen Werten abgeleitet wurden. Es ergab sich so die folgende Zusammenstellung berechneter und beobachteter Feldintensitäten $\mathfrak{S}$ für einen magnetisirenden Strom von 5,3 Amp.

	1	2	3	4	5
$\mathfrak{S}$ berechnet	477	336	231	138	113
$\mathfrak{S}$ beobachtet	455	333	227	155	111

Geht man längs der betrachteten Kraftröhre fort, so ergibt sich aus dem Verhältniss der Querschnitte: $\mathfrak{S}_1/\mathfrak{S}_5 = 3,9$, dagegen aus den Beobachtungen: $\mathfrak{S}_1/\mathfrak{S}_5 = 4,1$.

Die Uebereinstimmung ist eine für die Zwecke der vorliegenden Arbeit genügende.

An der Elektrode *A* laufen die Kraftlinien mit der Fläche der Elektrode parallel. Die Feldintensität in der Mitte der Elektrode hat für die verschiedenen magnetisirenden Ströme die folgenden Werte:

Magnetisirender Strom in Ampères	}	0,5	1,7	3,8	5,3
Feldstärke		47	144	335	473

Für den Mittelpunkt der Elektrode *B* ergibt sich die folgende Zusammenstellung:

Magnetisirender Strom in Ampères	}	0,5	1,7	3,8	5,3
Ganze Feldstärke		19	62	138	194
Componente parallel zur Elektrodenfläche	}	9,5	31	69	97
Componente senkrecht zur Elektrodenfläche		16,5	54	119	168

(Eingegangen 18. Januar 1901.)