

**6. Über den Zusammenhang
von Schlagweite und Spannung;
von W. Voege.**

Bis zu Funkenlängen von einigen Zentimetern ist das Schlagweitengesetz durch die gut übereinstimmenden Messungen der Herren Heydweiller, Paschen¹⁾ und E. Voigt²⁾ bekannt. Dagegen sind die Ansichten über die bei größeren Funkenlängen auftretenden Spannungen noch sehr geteilt.

Hr. E. Thomson³⁾ hält für eine Funkenlänge von 80 cm 500 000 Volt, Hr. Heydweiller⁴⁾ nur höchstens 100 000 Volt für erforderlich. Im Jahre 1898 sind in dieser Zeitschrift zwei Aufsätze von Hrn. Oberbeck⁵⁾ erschienen, in welchen der Verf. seine mit Hilfe der Spitzenwirkung ermittelten Werte über die an den Polen eines Induktionsapparates auftretenden Spannungen mitteilt. Die von Hrn. Oberbeck erhaltenen Zahlen werden meist, wenn es sich um größere Funkenlängen handelt, als maßgebend zugrunde gelegt. Neuerdings nun sind von dem Komitee für Normalien des American Institute of Electrical Engineers⁶⁾ für größere Funkenlängen Spannungen angegeben worden, welche erheblich von den Oberbeckschen Werten abweichen. Die genannten Spannungen sind in Effektivwerten gemessen und gelten angeblich für sinusförmig verlaufenden Wechselstrom. Selbst wenn man diese Effektivwerte nicht durch Multiplikation mit $\sqrt{2}$ in Maximalspannungen umrechnet, liegen sie höher als die Zahlen von Hrn. Oberbeck. Angeregt durch Versuche des Hrn. Dr. Walter, welche auf einen geradlinigen Verlauf des Schlagweitengesetzes schließen ließen, habe ich es unternommen, die fraglichen Spannungen in der Weise festzustellen, daß ich zum Betriebe des Funkeninduktors den

1) F. Kohlrausch, Lehrbuch d. prakt. Physik. 1901. Tab. 35.

2) E. Voigt, Ann. d. Phys. 12. p. 385. 1903.

3) E. Thomson, Elektrotechn. Zeitschr. 13. p. 415. 1892.

4) A. Heydweiller, Wied. Ann. 48. p. 213. 1892.

5) A. Oberbeck, Wied. Ann. 62. p. 109. 1897; 64. p. 193. 1898

6) Electrician 52. p. 78. 1903.

einer Maschine entnommenen Wechselstrom benutzte, aus der Kurvenform die primär auftretenden Maximalspannungen bestimmte und aus diesen mit Hilfe des Übersetzungsverhältnisses die Sekundärspannungen ermittelte.

Zunächst überzeugte ich mich durch eine Reihe von Versuchen davon, wie weit eine sichere Feststellung einer bestimmten Funkenlänge möglich ist, und welchen Einfluß hierauf Art und Beschaffenheit der Elektroden, Zustand der zu durchschlagenden Luftschicht etc. haben.

Wendet man Spitzen als Elektroden an, so sind bis etwa 5 cm Schlagweite ziemlich sichere Einstellungen zu erzielen, nur ist zu bemerken, daß bei diesen kleinen Funken die Beschaffenheit der Elektroden (mehr oder weniger scharfe Spitzen) von großem Einfluß ist. In dem folgenden Gebiet von 5—10 cm sind sichere Werte schwer oder gar nicht zu erzielen, hier spielt die jeweilige Beschaffenheit der zu durchschlagenden Luftschicht eine sehr große Rolle.¹⁾ Von 10—40 cm endlich ist es möglich, sehr gut übereinstimmende Werte zu erhalten, wie folgende von Hrn. Dr. Walter und mir ganz unabhängig mit demselben Induktor gefundene Zahlen zeigen:

Funken- länge cm	Nach Walter	Meine Messungen	Bemerkungen
	eff. Spannung in Volt		
10	45 700	45 800	Sek. Spannungen aus den prim. Spannungen mit Hilfe des Übersetzungsverhältnisses bestimmt. Prim. Spannung abgelesen kurz bevor der Funke übergeht. Dies war in den meisten Fällen zugleich der Maximalwert, den die prim. effektive Spannung erreichte
15	62 100	63 400	
20	77 400	77 300	
25	92 600	93 000	
30	108 400	107 800	

Kugeln von 1 cm Durchmesser verhalten sich in bezug auf Sicherheit der Einstellung ganz analog den Spitzen. Dagegen war es mit Kugeln von größerem Durchmesser (1,4 und 2 cm) fast unmöglich, oberhalb von 15 cm das Einsetzen des Funkens zu konstatieren. Es tritt hier nicht mehr ein starker glänzender Funke auf, sondern die Entladung vollzieht sich in Form von mehreren dünnen blauen Funken. Der Übergang von Büschel- und Funkenentladung ist nicht mehr scharf unterschieden.

1) Vgl. Tabelle p. 566.

Zur Erzeugung der Funken bediente ich mich meist eines nach Angaben von Dr. Walter gebauten 50 cm-Induktors von R. Seifert, Hamburg, mit großer sekundärer Windungszahl, in einzelnen Fällen (für kleinere Funkenlängen) auch eines 50 cm-Induktors von Klingelfuss mit starkem Eisenkern, starkem Primärstrom und wenig sekundären Windungen. Die Induktoren wurden immer mit Wechselstrom, der einem Gleichstrom-Wechselstrom-Umformer entnommen wurde, betrieben. Alle verwendeten Gleichstromunterbrecher arbeiteten viel zu unregelmäßig, um einigermaßen genaue Messungen ausführen zu können.

Der Induktor von R. Seifert hat nach Angabe der Firma sekundär ca. 190 000 Windungen, primär können verschiedene Spulen benutzt werden, ich arbeitete gewöhnlich mit 177 oder 103 Windungen. Der Eisenkern hat einen Durchmesser von 6 cm und eine Länge von 115 cm. Der ursprünglich offene Kern kann mit Hilfe eines zweiten Schenkels und zweier Jochstücke von 35 cm Länge magnetisch geschlossen werden, wodurch die Wirksamkeit des Apparates bei Wechselstrombetrieb sehr erhöht wird; man erhält die gleiche Funkenlänge mit ungefähr der halben primären Stromstärke. Nach Hrn. Klingelfuss¹⁾ erhält man, wenn man mit Gleichstrom und Quecksilberunterbrecher arbeitet, die maximale Wirkung, wenn der Eisenkern nicht völlig geschlossen ist, sondern einen Luftspalt von ca. 1 cm enthält. Dies ist leicht erklärlich, da der Kraftlinienstrom im geschlossenen Eisenkern den momentanen Abfall der primären Stromstärke nicht mitmacht und es hier auf die Änderung der Kraftlinienzahl, nicht auf die Zahl der überhaupt vorhandenen Kraftlinien ankommt.

Da die sekundären Spannungen aus dem Übersetzungsverhältnis berechnet werden sollten, war es nötig, 1. das Übersetzungsverhältnis möglichst genau zu bestimmen und 2. festzustellen, ob sich dieses Verhältnis nicht etwa mit zunehmender Belastung infolge von Streuung oder Resonanzwirkung ändert.²⁾ Bestimmt wurde das Übersetzungsverhältnis durch Messung der primären Spannung mit einem Hitzdrahtvoltmeter für

1) F. Klingelfuss, Ann. d. Phys. 5. p. 837. 1901.

2) Vgl. G. Seibt, Elektrotechn. Zeitschr. 14. p. 276. 1904.

15 Volt und der sekundären Spannung mit einem Braunschen Elektrometer für 10 000 Volt. Es ergab sich: Übersetzungsverhältnis = $8000/7,6 = 1052$ (angegeben 1072). Die Konstanz des Übersetzungsverhältnisses habe ich in folgender Weise kontrolliert.

Den mit Kugeln versehenen Elektroden des Induktors, welche in Paraffinöl vorzüglich isoliert sind, stehen in passendem Abstand zwei Messingkugeln von ca. 3 cm Durchmesser, welche mit einem sehr empfindlichen Spiegelelektrometer (nach Dolezalek) in Wechselstromschaltung verbunden sind, gegenüber.

Eine Änderung der Kapazität infolge Änderung des Ladestromes des Elektrometers mit der Spannung hat keinen merkbaren Einfluß. Primär wurde die Spannung mit Hitzdrahtinstrument von Hartmann & Braun gemessen.

Primäre Spannung v_1	Sekund. Spannung v_2	$\frac{v_2}{v_1}$	Primärer Strom	Bemerkungen
Volt	Volt		Amp.	
20,5	21 800	1,06 ₂	1,8	Das Elektrometer ist zunächst mit Gleichstrom geeicht. Dann ist durch eine Reihe von Versuchen ermittelt, um wieviel die sekundären Spannungen durch Vorschalten der Kapazität vor das Elektrometer reduziert werden.
31,7	34 160	1,07 ₇	2,6	
40,6	42 900	1,05 ₇	3,1	
46,4	49 400	1,05 ₄	3,4	
56,0	58 900	1,05 ₂	4,0	
66,0	73 000	1,10 ₄	4,6	
83,5	88 900	1,08 ₆	5,7	
95,0	100 000	1,05 ₂	6,6	

Wie Fig. 1 zeigt, ist vollkommene Proportionalität vorhanden.

Die Zahlen der Tabelle sind mit geschlossenem Eisenkern des Induktors erhalten; für offenen Kern war ebenfalls keine Änderung des Übersetzungsverhältnisses zu konstatieren. Magnetische Streuung kommt also nicht in Frage. Einmal ist die Induktion im Eisen gering und zweitens hat der Eisenkern fast die doppelte Länge der Sekundärspule. — Für sekundären offenen Stromkreis ist ohne weiteres mit dem Übersetzungsverhältnis zu rechnen. Bei Funkenübergang ist aber eine sekundäre Belastung des Transformators vorhanden. Um mir auch für diesen Fall Gewißheit zu verschaffen, wurde das

Elektrometer zunächst geeicht, dann zwei Spitzenelektroden mit dem Induktor verbunden und in dem Augenblick, wenn ab und zu ein Funke überschlug, für verschiedene Funkenlängen das Übersetzungsverhältnis bestimmt (Fig. 2). Eigentümlicherweise fiel das Übersetzungsverhältnis, bei Funkenüberschlag

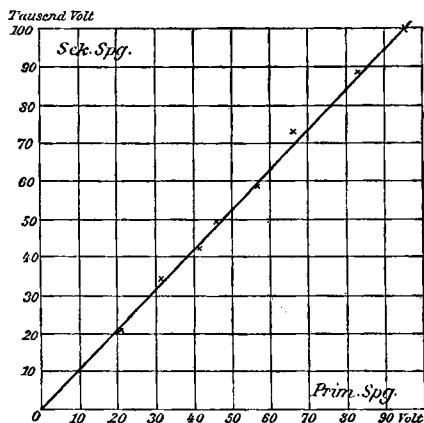


Fig. 1.

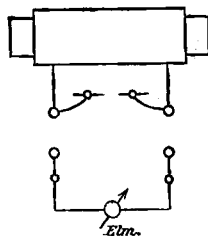


Fig. 2.

gemessen, überall etwas größer aus (um ca. 2 Proz.) als wenn keine Funken auftraten. Auf diese Erscheinung komme ich noch zurück.¹⁾

Die Schlagweite ist abhängig von der Maximalspannung. Mißt man die primäre Spannung des Induktors mit einem Hitzdrahtvoltmeter oder einem Elektrodynamometer, so erhält man den effektiven Wert, d. h. den Mittelwert aus der Summe der Quadrate. Dieser Wert ist abhängig von dem zeitlichen Verlauf der Spannung. Es ist also erforderlich, die Form der Spannungskurve oder aber das Verhältnis von maximaler und effektiver Spannung, den Formfaktor c , direkt experimentell zu bestimmen.

Verwendet zu diesem Zweck wurde ein Oszillograph nach Wehnelt. (In einigen Fällen auch die Braunsche Röhre.) Das von einer Nernstlampe ausgehende, vom Spiegel des Oszillographen reflektierte Licht wurde durch eine Linse zu einem scharfen Bilde vereinigt auf einem weißen Schirm aufgefangen. Die Länge des zu einer Linie ausgezogenen Punktes wurde entweder mit einem spitzen Bleistift oder durch Ersetzen des Papierschirmes

durch Bromsilberpapier, welches später entwickelt wurde, markiert. Unmittelbar nach der Wechselstrommessung wurde an den Oszillographen eine Gleichstromspannung gelegt und ermittelt, welche Gleichstromspannung zum Hervorbringen eines gleich großen Ausschlages wie vorher erforderlich war. Auf diese Weise werden Fehler durch Temperaturunterschiede des Oszillographen sowie Veränderungen in der Magnetfelderregung desselben ausgeschlossen. Die Anordnung der Apparate zeigt Fig. 3. Der Oszillograph wurde so einreguliert, daß Eigenschwingungen des Systems keinen Einfluß hatten.

Beobachtet man nun die mit Hilfe des Oszillographen oder auch der Braunschen Röhre erhaltenen Kurven im rotierenden Spiegel, so zeigt sich bei Funkenübergang eine Veränderung der Kurven in dem Sinne, daß dieselben spitzer und spitzer werden. Ich erkläre mir diese Erscheinung folgendermaßen.

In dem Moment, in welchem der Funke zustande kommt, wird infolge der Stromentnahme eine Entmagnetisierung des Eisenkernes und damit ein Sinken des induktiven Widerstandes der Primärspule entstehen. Die Folge ist ein starkes Wachsen des primären Stromes, solange der Funke einen geschlossenen sekundären Stromkreis herstellt. Das Abreißen des Funkens bedingt einen plötzlichen Abfall des primären Stromes. Da das Entstehen eines Funkens immer an den Augenblick der Maximalspannung gebunden ist, wird durch die plötzliche Verkleinerung und das noch plötzlichere Anschwellen des induktiven Widerstandes die Kurvenform des primären Stromes in der Weise geändert, wie es die Fig. 4 zeigt. Diese Änderung der Kurvenform ist mit dem Oszillo-

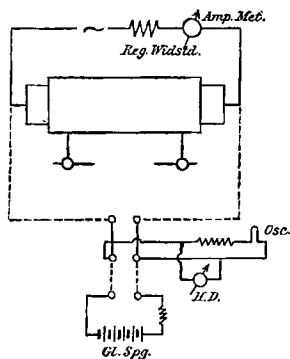


Fig. 3.

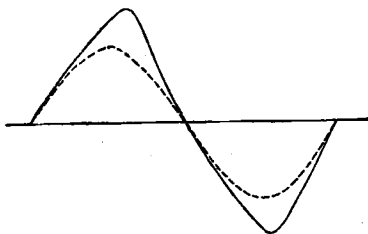


Fig. 4.

graphen oder der Braunschen Röhre deutlich nachzuweisen.

Durch die Wechselwirkung des sekundären und des primären Stromes wird ein steilerer Abfall des magnetischen Feldes bedingt, welcher seinerseits wieder eine unter Umständen nicht unbeträchtliche Steigerung der induzierten Spannung bewirkt. Das plötzliche Abreißen des vorhergehenden

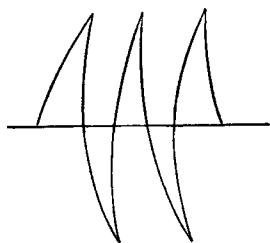


Fig. 5.

Funkens erzeugt eine Spannungssteigerung, welche das Zustandekommen des folgenden Funkens wesentlich erleichtert. Die für diesen zweiten Funken zur Verfügung stehende Spannung wird meist höher sein, als zur Bildung des Funkens unbedingt erforderlich ist. Eine ganz bedeutende Erhöhung der Spannungskurve, bis zu dem Doppelten der ursprünglichen

Maximalspannung, erhält man bei regelmäßigem Funkenübergang, wenn jedem Spannungsmaximum ein Funke entspricht. Der Oszillograph zeigt in diesem Falle das Bild der Fig. 5.

Da jeder Funke durch eine Reihe von dunklen Vorentladungen eingeleitet wird, so entstehen auch schon Spannungserhöhungen, wenn auch in geringerem Grade, kurz bevor der wirkliche Funke einsetzt. Man erhält daher falsche Resultate, wenn man einfach mit dem bei gänzlich offenem Sekundärkreis ermittelten Formfaktor rechnet. Es ist vielmehr nötig, jedesmal kurz bevor der Funke einsetzt, den Formfaktor zu bestimmen. Dies ist nun nicht so schwierig, wie es im ersten Augenblick aussieht; man kann durch Regulieren des primären Stromes verhältnismäßig leicht einen Zustand einstellen, in welchem die Funken in kurzen Abständen überschlagen. Jedesmal wenn ein Funke zustande kommt, beobachtet man ein Emporzucken des Maximalwertes, das aber nicht weiter zu berücksichtigen ist, da es nur auf die Verhältnisse vor dem Funkenübergang ankommt.

Ich habe nun auf die beschriebene Weise eine große Reihe von Beobachtungen ausgeführt und den Faktor c für die verschiedensten Funkenlängen bestimmt und niemals eine gesetzmäßige Abhängigkeit dieses Faktors von der Funkenlänge ge-

funden. Zum Beweise lasse ich zwei Beobachtungsreihen (es wurden von derselben Art über zehn angestellt) folgen, aus welchen zugleich die erreichte Genauigkeit zu ersehen ist.

Funken- länge cm	Erste Beobachtungsreihe			Zweite Beobachtungsreihe		
	eff. prim. Spannung	max. prim. Spannung	<i>c</i>	eff. prim. Spannung	max. prim. Spannung	<i>c</i>
	in Volt	in Volt		in Volt	in Volt	
10	44,5	72,4	1,63	44,5	69,3	1,56
15	61,2	97,6	1,59	61,0	97,4	1,59 _s
20	76,6	121,3	1,58	76,2	120,0	1,58
25	90,5	145,0	1,60	90,0	144,0	1,60
30	103,3	165,0	1,59	103,5	164,8	1,59
Im Mittel:			1,59	1,58 ₆		

Mit diesem Faktor $c = 1,59$ sind also die effektiven Primärspannungen außer mit dem Übersetzungsverhältnis zu multiplizieren, um die sekundären Maximalspannungen zu erhalten.

Die Spannungserhöhung infolge des überschlagenden Funkens geht noch besonders deutlich aus folgendem hervor. Zunächst wurde der Faktor c für den reinen Maschinenstrom bestimmt: $c_{\text{Masch.}} = 1,52$. Durch Anhängen des sekundären offenen Induktors wurde die Stromkurve fast sinusförmig $c_{\text{Masch.} + \text{Ind.}} = 1,42$. Die Kurvenform ändert sich nicht, wenn man den Induktor mit Spitzen versieht, so daß eine starke Spitzenentladung stattfindet; erst wenn man die Spitzen so weit einander nähert, daß Vorentladungen und ab und zu Funken auftreten, findet man wieder $c = 1,59$.

Bemerken will ich noch, daß der Einfluß der Funkenentladung auf die Kurvenform natürlich ganz von der Größe und Bauart des Induktors und der Maschine bez. von dem Verhältnis beider zueinander abhängt. Er wird viel geringer sein, wenn der Eisenkern des Induktors stark gesättigt ist, oder wenn man einen hohen induktiven Widerstand dem Induktor vorschaltet. Letzteres wurde durch einen Versuch vollkommen bestätigt.

Um einwandsfreie Resultate zu erzielen, habe ich das Verhältnis von Schlagweite und Spannung mit möglichst verschiedenen Kurvenformen zu bestimmen gesucht.

1. Induktor von Seifert. Eisenkern geschlossen. Wechselstrom von 50 Per.

$$c = 1,59_1 \text{ (im Mittel).}$$

2. Induktor von Seifert. Eisenkern offen. Wechselstrom von 50 Per.

$$c = 1,45_7 \text{ (im Mittel).}$$

3. Induktor von Seifert. Eisenkern geschlossen. Wechselstrom von 10 Per. (andere Maschine)

$$c = 1,86.$$

4. Induktor von Seifert. Eisenkern geschlossen. Wechselstrom von 50 Per. und besonders spitzer Kurvenform

$$c = 2,14.$$

Die folgende Tabelle gibt meine Beobachtungen über Spannung und Funkenlänge bei Verwendung von Spitzenelektroden in den genannten vier Fällen wieder:

Funken- länge cm	$c = 1,59_1$		$c = 1,47_7$		$c = 1,86$		$c = 2,14$		Mittelwerte d. primären max. V.	Sekundäre max. Spannung
	Primäre		Primäre		Primäre		Primäre			
	eff. V.	max. V.	eff. V.	max. V.	eff. V.	max. V.	eff. V.	max. V.		
8	36,6	58,2	38,1	55,5	33,0	61,4	—	—	58,4	61 400
10	43,5	69,2	47,5	69,2	38,0	70,7	32,3	69,2	69,6	73 200
12	49,6	78,9	53,9	78,5	42,0	78,1	—	—	78,5	82 600
14	55,3	88,0	59,9	87,3	46,5	86,5	41,1	88,0	87,5	92 000
16	61,2	97,4	66,2	96,5	50,5	94,0	—	—	96,0	101 000
20	73,5	116,9	77,2	112,5	59,0	109,8	54,6	116,8	114	119 900
25	85,7	136,4	90,6	132	70,0	130,2	63,7	136,2	133,7	140 600
30	101	160,7	105,5	154	—	—	73,1	156,4	157,5	165 700
35	117	186	—	—	—	—	82,7	177	181,5	190 900

Trägt man die gefundenen sekundären Maximalspannungen abhängig von der Funkenlänge auf, so erhält man für Spitzenelektroden und Funkenlängen größer als 10 cm eine vollkommen gerade Linie (Fig. 6). Auch nach den Beobachtungen des Hrn. Oberbeck¹⁾ ist der Verlauf der Spannung als Funktion der Funkenstrecken von 8—10 cm Schlagweite an geradlinig. Der absoluten Größe nach aber weichen die von mir gefundenen Werte erheblich von den Zahlen Oberbecks ab, stimmen dagegen sehr gut mit den Angaben des Komitee für Normalien

1) A. Oberbeck, Wied. Ann. 64. p. 213. 1898.

des American Institute of Electrical Engineers überein, wenn man diese (effektiven Werte) durch Multiplikation mit $\sqrt{2}$ in Maximalspannungen umrechnet.

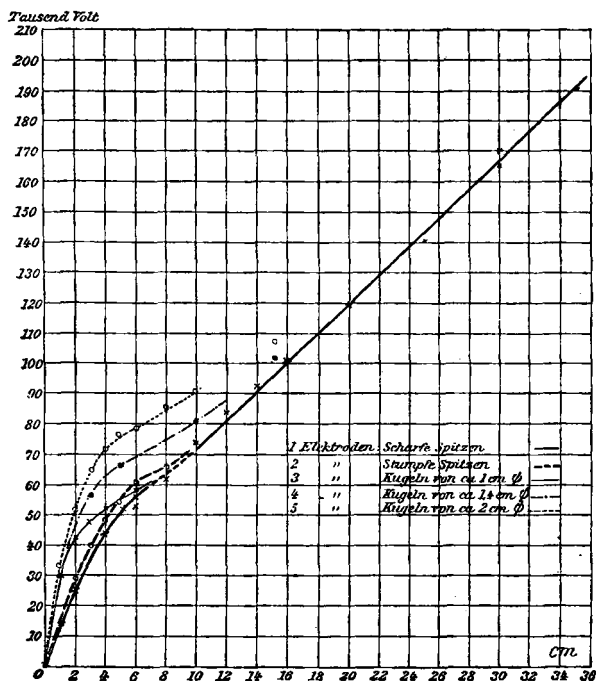


Fig. 6.

Funken- länge cm	Amer. Eng. $c = 1,41$	Meine Resultate	Abweichungen
			Proz.
10	73 500	73 200	+ 0,4
12	83 100	82 600	+ 0,6
14	93 000	92 000	+ 1,7
16	102 500	101 000	+ 1,46
20	122 000	119 000	+ 1,72
25	146 000	140 600	+ 3,7
30	170 000	165 700	+ 2,5
35	194 800	190 900	+ 2,0

Hr. Klingelfuss in Basel hat die Spannungen in der Weise früher zu ermitteln gesucht, daß er primär und sekundär die Maximalspannungen durch die auftretenden Funkenlängen maß und die primäre Spannung mit Hilfe der Paschen-Heyd-

weillerschen Werte in Volt umrechnete und aus dem Übersetzungsverhältnis endlich die Sekundärspannungen bestimmte. Er findet für

10	20	30 cm
107 000	156 000	183 000 Volt.

Der Größenordnung nach stimmen auch diese Zahlen mit meinen überein. Bei der ungenauen Beobachtungsmethode mit primären Funken und Quecksilberunterbrecher ist eine größere Übereinstimmung auch kaum denkbar.

Aus der Spitzenwirkung hat Hr. Oberbeck¹⁾ für 10 cm Schlagweite auf 45 000, für 20 cm auf 75 000 Volt geschlossen. Daß diese Zahlen um ca. 40 Proz. kleiner sind, als die direkt aus der Kurvenform bestimmten Werte, wird daher rühren, daß der Ausfluß aus der Spitze nicht nur von der Höhe, sondern auch von der Dauer des Potentials abhängt. Einige Versuche, bei denen ich den Beginn der Spitzenentladung mit Elektrometern von verschiedener Empfindlichkeit bestimmte, haben dies bestätigt.

Um einen Vergleich mit den Zahlen von Heydweiller, Paschen und Voigt zu ermöglichen, habe ich auch bei kleineren Funkenlängen mit Elektroden verschiedener Art Versuche angestellt und folgende Zahlenwerte gefunden:

Funken- länge cm	Scharfe Spitzen	Stumpfe Spitzen	Kugeln von 1 cm Durchm.	Kugeln von 1,4 cm Durchm.	Kugeln von 2 cm Durchm.	Bemer- kungen
1	—	12 000	33 000	—	—	} Beobach- tungen unsicher
2	25 000	29 200	43 000	—	51 000	
3	35 000	40 000	49 000	57 500	65 000	
4	44 000	48 500	52 100	—	71 000	
5	52 000	56 400	55 000	66 300	76 000	
6	56 000	60 900	57 800	—	79 000	
8	—	67 100	66 000	—	85 000	
10	72 000	73 000	—	81 200	90 500	
15	—	—	—	—	—	
20	123 000	122 000	—	—	—	
25	—	—	—	—	—	
30	—	166 000	170 600	—	—	

Diese Resultate sind ebenfalls in Fig. 6 dargestellt.

1) A. Oberbeck, l. c.

Vergleich mit früheren Messungen.

Funken- länge cm	Kugeln von 2 cm Durchm.		Kugeln von 1 cm Durchmesser		
	E. Voigt	Meine Messungen	Heydweiller Paschen	E. Voigt	Meine Messungen
1	—	—	32 700	32 000	33 800
2	54 000	51 000	48 600	48 100	43 000
3	76 200	65 000	—	—	—
4	73 000	71 600	—	—	—
5	77 400	76 200	—	—	—

Auch bei den kleinen Funkenlängen stimmen also meine Ergebnisse gut mit früheren Beobachtungen überein. Zu berücksichtigen ist, daß hier schon die genaue Längeneinstellung der Funkenstrecke Schwierigkeiten macht und die Genauigkeit des Hitzdrahtvoltmeters bei den Punkten „2, 3, 4 cm, Kugeln 1 cm Durchmesser“, sehr zu wünschen übrig läßt, da hier die 150 Voltskala benutzt werden mußte, während für den Punkt „1 cm“ noch die 15 Voltskala ausreichte.

Wie die Fig. 6 erkennen läßt, spielt für kleine Funkenlängen die Art und Beschaffenheit der Elektroden eine viel größere Rolle als für große Funkenlängen. Für kleine Funkenlängen liegt der zu überwindende Widerstand hauptsächlich an der Übergangsstelle vom Metall in die Luft. Die Länge der Funkenstrecke kommt noch weniger in Frage. Anders bei größeren Funkenlängen. Hat die Spannung erst einen solchen Betrag erreicht, daß sie den Übergangswiderstand ohne weiteres überwindet, so kommt jetzt der Widerstand der Luftstrecke in erster Linie in Frage und dieser ist nach meinen Beobachtungen der Länge des Luftweges proportional. Wenigstens bis zu ca. 40 cm Schlagweite. Darüber hinaus bleibt die Frage noch unentschieden. Wahrscheinlich ist es allerdings nicht, daß die Proportionalität für noch größere Funkenlängen nicht mehr gelten sollte.

Für Funkenlängen von 10—40 cm hat das Schlagweiten-gesetz für Luft die sehr einfache lineare Form. Es ist

$$V = 4800 d + 24\,000,$$

wenn d die Dicke der Luftschicht in Zentimetern und V die erforderliche Spannung in Volt ist. Das erste Glied der

Gleichung stellt die der Dicke der Luftschicht proportionale Durchschlagsspannung, das zweite die zur Überwindung des Übergangswiderstandes erforderliche Spannung dar.

Nach Versuchen von Hrn. Lietzau¹⁾ über Gleitfunkenstrecken gilt die Beziehung:

$$\frac{\text{Gleitfunkenstrecke}}{\text{Luftfunkenstrecke}} = \text{Konst.}$$

Material und Oberflächenbeschaffenheit haben wenig Einfluß. Also gilt auch für größere Gleitfunkenstrecken das lineare Schlagweitengesetz, was Hr. Lietzau auch für einige Funkenlängen direkt gefunden hat.

Allgemein kann man sagen: Die zum Durchschlagen größerer Luftfunkenstrecken erforderliche Spannung ist, abgesehen von einem zur Überwindung des Übergangswiderstandes dienenden (bei denselben Elektroden) konstanten Betrage, proportional der Länge der Luftstrecke.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß das Schlagweitengesetz für feste und flüssige Isolationsmaterialien eine andere Form annimmt. Diesen Gegenstand denke ich noch weiter zu verfolgen.

Hamburg, Physikal. Staatslaboratorium, April 1904.

1) E. Lietzau, „Mathématique et Physique“, Genf. 1. Heft 1. 1904.

(Eingegangen 20. April 1904.)
