3. *Gleitfunken* *auf sehr dünnen (Glimmer-)Platten;* *von Max Toepler.*

Vorliegend mitgeteilte Beobachtungen bilden eine Ergänzung der früher¹⁾ für dickere Platten (Glas) ausgeführten Messungen.

I. Versuchsanordnung.

Die allgemeine Versuchsanordnung zur Herstellung von Gleitfunken erster Art war die gleiche wie sie bei Anwendung von Glasplatten benutzt wurde (vgl. l. c., Figg. 1a und 1b).

Bei Ausdehnung der Messungen von Gleitfunkenbildung auf dünnste Glimmerplatten traten einige Schwierigkeiten auf. Nur auf Platten von mehr als 0,1 mm Dicke bildete sich die (Schwefel-Mennige) Staubfigur so scharf aus, wie es erwünscht war; die Benutzung der Bestäubung wurde daher hier aufgegeben und nur die größte *Gleitfunkenlänge* auf *unbestäubten* Platten festgestellt. Ferner war auf dünnsten Platten das Aufkleben des Stanniolstreifens auf der Glimmerplattenrückseite schwierig und wegen der verbleibenden Klebmassenzwischen-schicht nicht ganz einwandfrei. Zum Ersatz wurden daher diese dünnsten Platten auf starke Messingstreifen, deren Oberfläche amalgamiert war und auf welchen noch Quecksilber flüssig stand, unter Ausdrücken der Luft vorsichtig aufgelegt.

Die Bestimmung der Plattendicke erfolgte indirekt dadurch, daß Dicke und Gewicht der zu spaltenden starken Glimmerplatte (mehr als 0,1 mm dick, 10 cm breit und 33 cm lang) direkt bestimmt, und dann aus dem Gewicht der Spaltungsstücke deren Dicke berechnet wurde.²⁾

1) M. Toepler, Ann. d. Phys. **21**. p. 193. 1906.

2) Angaben über die Dicke der benutzten Glimmerplatten finden sich in Tab. II. Die Plattenzählung beginnt hierin mit Nr. 14 in Fortzählung der Plattennumerierung in der eingangs zitierten Arbeit.

Bemerkt sei, daß auch, wie früher, alle Beobachtungen und Messungen vorliegender Arbeit sich auf positive Gleitfunken (Metallstreifen stets

II. Einfluß der Kapazität der benutzten Batterien und der Streifenbreite.

Bei sehr dünnen Platten ist die Kapazität der Oberflächeneinheit sehr beträchtlich, somit auch die Elektrizitätsmenge, welche bei Gleitbüscheln (auch solchen von nur wenigen Zentimetern Länge) auf die Platte fließt. Sind die benutzten Batterien nicht *sehr* groß, so sinkt die Spannung an den Gleitfunkenpolen schon während der Gleitbüschelbildung so stark, daß man zu *kurze* Gleitfunken erhält; Fig. 1 möge dies illustrieren.

Fig. 1.

Für sehr große Batterien würden die Gleitfunkenlängen schließlich jeweils einen *bestimmten*, von Kapazitätsvermehrung nicht mehr merklich abhängigen *größten Wert erreichen*. Ist die benutzte Batterie nicht zu klein, so läßt sich bei Kenntnis ihrer Kapazität und der Gleitbüscheldimensionen die beobachtete Gleitfunkenlänge auf eben genannte größtmögliche Länge umkorrigieren.

Für lange Gleitfunken (30—100 cm) auf dicken Glasplatten (2—3 mm stark) war früher gefunden¹⁾, daß mit wachsender *Streifenbreite* die Gleitfunkenlänge erst schnell, dann langsam zunimmt, um schließlich, nach Überschreiten eines **Maximums**,

Kathode) beziehen; auch auf Glimmerplatten kamen, wie orientierende Messungen ergaben, die längsten negativen Gleitfunkenlängen den positiven nahe.

1) Vgl. M. Toepler, Wied. Ann. **66**. p. 1069. 1898.

wieder etwas abzunehmen. Dasselbe Verhalten zeigen nun auch die Gleitfunkenlängen, die man auf dünnen Glimmerplatten erhält; z. B. ergaben sich auf Glimmerplatte Nr. 14 bei 15,6 Kilovolt angelegter Spannung:

für eine Streifenbreite von	0,1 cm	0,5 cm	2 cm	5 cm
die Gleitfunkenlänge zu	21,7 cm	24,2 cm	23,9 cm	22,7 cm

Bringt man nun aber die nötige Korrektion wegen der nicht ganz hinreichenden Batteriekapazität an und berücksichtigt hierbei, daß bei breiteren Streifen die geladene Fläche eine größere ist, so verschwindet die Abnahme nach Überschreiten des Maximums fast völlig. Bei Streifen, die mehr als das Zehnfache der Plattendicke betragen, weichen dann die Funkenlängen nur noch innerhalb der Versuchsfehlergrenzen voneinander ab.

III. Gleitfunkenlängen als Funktion von Spannung und Plattendicke.

Nachstehende Tab. I gibt Gleitfunkenlängen für einige Glimmerplatten.¹⁾ Als Streifen dienten ausnahmslos amalgamierte Messingstäbe.

Tabelle I.

Platte Nr. 16 Dicke 0,0447 mm, Streifenbreite 0,2 cm.			Platte Nr. 18 Dicke 0,0130 mm, Streifenbreite 0,1 cm.		
P in Kilovolt	f in cm	$\alpha = P^4 : f$	P in Kilovolt	f in cm	$\alpha = P^4 : f$
2,7	0,3	—	2,3	0,23	—
4,0	0,4	—	2,8	0,30	—
5,1	0,8	—	3,1	0,40	—
5,5	1,4	654	3,3	0,45	—
5,7	1,8	586	3,4	0,6	—
6,5	3,1	576	3,5	0,9	—
7,6	5,2	642	4,3	1,4	244
8,2	6,7	675	4,9	2,6	222
8,7	8,6	666	5,1	2,8	242
9,0	9,1	708	5,3	3,5	225
9,1	12,3	558	5,8	4,8	236
9,2	11,5	623	6,2	6,2	238
9,4	14,5	538	6,3	6,5	275

Durchschlagen bei 6,3 Kilovolt.

1) Als Kapazität dienten 2 mal 20 große Leidener Flaschen (wirk-
same Kapazität 50 000 cm). Wo erforderlich, sind die angegebenen
Spannungswerte auf unendliche Kapazität korrigiert; die Korrektion an
den Spannungen überschritt nirgends 5 Proz.

Tabelle I (Fortsetzung).

Platte Nr. 19

Dicke 0,0068 mm, Streifenbreite 0,15 cm.

P in Kilovolt	f in cm	$\alpha = P^4 : f$
1,9	0,15	—
2,6	0,2	—
3,0	0,5	162
3,2	0,8	131
3,4	1,1	122

Durchschlagen bei 3,4 Kilovolt.

Die Tabellenangaben und die weiteren Messungen zeigen: Wie auf dicken Glasplatten gehorcht die Funkenlänge für wachsende Spannung nacheinander zwei verschiedenen Gesetzen.

Speziell für *gleitende* Entladung ergibt sich: Für alle Glimmerplatten bis zu den dünnsten hinab (1/140 mm Stärke) gilt die Beziehung

$$(1) \quad \alpha \cdot f = P^4,$$

worin α eine jeder Platte individuelle Konstante bedeutet. In Tab. II sind die für verschiedene Glimmerplatten gefundenen Mittelwerte von α zusammengestellt (f in Zentimetern und P in Kilovolt gerechnet).

Tabelle II.

Plattennummer	14	15	16	17	18	19
Plattendicke in mm	0,153	0,0648	0,0447	0,0222	0,0130	0,0068
Kapazität in cm von 1 cm ² Oberfläche }	34,5	82	118	238	407	778
Konstante α	2217	923	623	368	240	138

Weiter war früher für Glasplatten die Beziehung

$$\alpha^2 \cdot c^3 = 6,3 \cdot 10^{10}$$

gefunden. Es bedeutet hier c die Kapazität von 1 cm² Plattenoberfläche. Rechnet man die Kapazität c nach der Formel $c = \kappa / 4 \pi d$ (worin d die Plattendicke, κ die Dielektrizitätskonstante bedeutet) und setzt κ für Glimmer = 6,6, so erhält

man die in der dritten Zeile von Tab. II angegebenen Kapazitätswerte.

In Fig. 2 sind nun zum Vergleich sowohl die früheren Messungen (Kreuze mit Nr. 6—13), wie auch die vorangehend angegebenen neuen (Kreuze mit Platten-Nr. 14—19) eingetragen, und zwar zu $\log. c$ als Abszissen, die Werte von $\log. \alpha$ als Ordinaten. Man sieht, daß die neuen Werte keine geradlinige Fortsetzung der früheren, welche ja auf gerader Linie liegen, ergeben haben.

Fig. 2.

Der Grund für die hervorgehobene Abweichung dürfte, wenigstens zum größeren Teile, in folgendem zu finden sein: Nach allem erfolgt der Prozeß der Gleitbüschelbildung noch in Luft. Zu der Glimmerplattendicke ist also sachgemäß noch eine dünne Luftschicht hinzuzurechnen. Andererseits liegt sicher auch der Metallstreifen, selbst der amalgamierte, an der Plattenunterseite nicht völlig an. Die wahre wirksame Platte für Gleitfunkenbildung besteht also aus Glimmer, vermehrt um zwei Luftschichten. Die wirksame Kapazität der Oberflächeneinheit (c') ist also zu rechnen als

$$c' = \frac{1}{4 \pi d_1 : \kappa_1 + 4 \pi d_2 : \kappa_2},$$

wo d_1 und κ_1 die Dicke (in Zentimetern) und Dielektrizitätskonstante des Glimmers d_2 und κ_2 der Luftlamellen bedeuten.

Nimmt man in obiger Formel $4\pi d_2 : \kappa_2$ als konstant und speziell = 0,008 an, so erhält man das Gesetz

$$(2) \quad \alpha^2 \cdot c^3 = \frac{\alpha^2}{(1,90 \cdot d_1 + 0,008)^3} = 6,3 \cdot 10^{10},$$

d. h. also an Stelle der gestrichelten Geraden in Fig. 2 die strichpunktierte Kurve. Diese letztere Kurve schmiegt sich den beobachteten Werten einigermaßen an.

IV. Die beiden Existenzgrenzen der Gleitfunkenbildung.

a) *Erste Grenze, kleine Schlagweite.* Für jede Platte erfolgt bei *kleinen* Schlagweiten schließlich die Funkenbildung nicht mehr gleitend, sondern durch die Luft (die Funkenlänge

Fig. 3.

als Funktion der Spannung aufgefaßt, besitzt eine Knickstelle). Werden für verschiedentliche Platten jedesmal diejenigen Funkenlängen (Abszissen) als Funktion der Spannung (Ordinaten) gezeichnet, wie dies in Fig. 3 geschehen ist, so bildet die (stark gestrichelte) Verbindungslinie og_1 aller Knickstellen die *untere* Grenze der Gleitbündelbildung. In Annäherung ist diese Grenze gegeben durch die Formel

$$(3) \quad f_{\min.} = 0,1 \cdot P,$$

wo P in Kilovolt gezählt ist.

b) *Zweite Grenze, große Schlagweite.* Der Länge der Gleitbüschel und Gleitfunken ist für jede Platte eine *obere* Grenze dadurch gesetzt, daß schließlich die Platte durch die für Gleitbüschelbildung nötige Spannung durchschlagen wird. Für dünnste Glimmerplatten wurde bei meinen Messungen diese Grenze tatsächlich erreicht; in Fig. 3 sind die beobachteten beiden Werte von $f_{\max.}$ durch die Marke $\oplus$ gekennzeichnet, die stark strichpunktierte Verbindungslinie $g_0 g_2$ dieser Werte bildet die *obere* Grenze der Existenz von Gleitfunken.

Nach Tab. I wäre für sehr dünne Glimmerplatten zu setzen

$$(4) \quad P_{\max.} = 500 \cdot d,$$

wo $P_{\max.}$ die Durchschlagsspannung in Kilovolt bedeutet¹⁾ und d in Millimetern berechnet ist.

Durch Kombination von Gleichung (4) mit (2) und (1) könnte man die größtmögliche Gleitfunkenlänge $f_{\max.}$ errechnen.

Wie die Figur zeigt, schneiden sich die beiden Grenzkurven (Punkt g_0). Es gibt also eine *kleinste Plattendicke* derart, daß dünnere Platten durchschlagen werden, ehe es überhaupt zur *Gleitfunkenbildung* kommt. Zu ihr gehört eine *kleinste Spannung* (Ordinate von Punkt g_0) und eine *kleinste Gleitfunkenlänge* (Abszisse von Punkt g_0).

Für Glimmer in Berührung mit gewöhnlicher Luft ergibt sich angenähert:

als kleinste Dicke	0,005 mm
als kleinste Gleitfunkenlänge . . .	0,2 cm
als kleinste Spannung	2,5 Kilovolt.

Diese drei Minimalwerte wären auch zu errechnen; für den Punkt g_0 koexistieren nämlich die Gleichungen (1), (2), (3) und (4).

1) Hr. C. Bauer (Elektrotechn. Zeitschr. 1904. p. 7) stellt die von Gray beobachteten Durchschlagsspannungen für Glimmerplatten von 0,1 bis 1 mm Dicke durch die Interpolationsformel $P = 81,7 \cdot d^{2/3}$ dar. Hiernach würde sich für $d = 0,0130$ mm P zu 4,52 Kilovolt und für $d = 0,0068$ mm P zu 2,94 Kilovolt rechnen, Werte, welche den von mir beobachteten immerhin *recht nahe kommen*, wenn man bedenkt, wie sehr die Durchschlagsspannung von zufälligen Materialfehlern abhängt.

Als weitere Folge des eben Gesagten findet die in Fig. 3 dargestellte Kurve der Werte $\log. \alpha$ für Glimmer schließlich mit wachsender Kapazität ein *Ende*; dieses liegt etwa an der mit s bezeichneten Stelle.

Qualitativ das gleiche bezüglich der Existenzgrenzen gilt natürlich auch für Platten aus anderem Materiale, wobei freilich quantitativ andere Werte gelten; für Glas z. B. ist die Durchschlagsfestigkeit ja viel geringer, daher liegt hier das Kurvenstück $g_2 g_0$ beträchtlich höher als bei Glimmer.

Dresden, Physik. Inst. d. Techn. Hochsch., 21. Juni 1907.

(Eingegangen 10. Juli 1907.)