© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

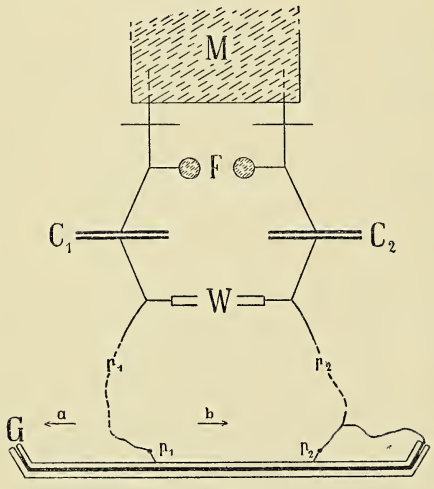
III. Gleitfunken auf Glasrohren.

Von **Max. Toepler.**

Mit 2 Abbildungen.

Die Ausbildung gleitender Entladung auf sehr weiten Glasrohren mit relativ geringer Wandstärke und mit einem schmalen Metallstreifen entlang der Rückseite*) unterscheidet sich naturgemäfs nicht von der früher eingehend untersuchten auf Platten. Dies gilt jedenfalls, solange die Rohrweite so grofs ist, dafs der seitlichen Ausbreitung des Gleitbüschels keine Grenzen gezogen sind. Nun beträgt die Breite von ebenen Gleitbüscheln auf Platten von mehr als 0,2 mm Stärke schon dicht hinter dem Büschelkopfe etwa 3 cm. Man wird also auf allen Glasrohren, deren Umfang weniger als 3 cm beträgt (bei mehr als 0,2 mm Wandstärke) die seitliche Ausbildung des Gleitbüschels als seiner ganzen Länge nach behindert und in bestimmter Weise festgelegt anzusehen haben; auf solch engen Rohren ist dann (im Gegensatze zu Platten) die jeweils geladene Oberfläche proportional der Gleitbüschellänge. Dem entsprechend sind auch für diese etwas veränderte Bildungsgesetze zu erwarten. Einen Beitrag zur Kenntnis dieser Gesetze sollen nachstehende Untersuchungen liefern.**)

Fig. 1.



Versuchsanordnung und Beobachtungseinzelheiten.

a) Die im folgenden angewandte Versuchsanordnung (Fig. 1) ist die gleiche, wie die früher***) von mir zur Herstellung von Gleichfunken erster Art benutzte.

*) Man kann hierbei natürlich entweder den Streifen innen legen und die Funkenbildung aufsen erfolgen lassen, oder umgekehrt.

**) Bemerkt sei, dafs sich die Hoffnung, es werde aus obengenannten Gründen die Gleitbüschel- und Gleitfunkenbildung auf Rohren gleichmäfsiger und regelmäfsiger erfolgen als auf Platten, nicht erfüllt hat; die Unsicherheit der Ausbildung gleitender Entladung scheint hiernach wesentlich in ihrem Mechanismus mit begründet.

***) M. Toepler, Abh. d. naturw. Ges. Isis in Dresden 1897, Heft 1; Wied. Ann. 66, 1898, S. 1061; Ann. d. Phys. 21, 1906, S. 193.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Es bedeutet:

M eine vielplattige Influenzmaschine;

C_1 C_2 zwei gleichgrofse Batterien (je zwei Schachtelbatterien von je 40000 cm Kapazität, sodafs also die wirksame Kapazität der benutzten Batterieanordnung 40000 cm betrug);

F Primärfunkenstrecke zwischen Messingpolkugeln von je 6 cm Durchmesser;

W ein Wasserwiderstand von ca. 3.10^6 Ohm;

G das Glasrohr mit den Gleitfunkenpolen p_1 und p_2.

Da enge Rohre durch Gleitfunken im Innern leicht zertrümmert werden, war die Aufsenoberfläche für die gleitende Entladung benutzt*). Als Metallbelag im Innern diente entweder Quecksilberfüllung oder Versilberung mit Drahteinlage im Rohrinnern. (Vergl. die Angaben in fünfter Spalte von Tab. I).

b) Wählt man als Metallbelag im Rohrinnern dünne Oberflächenversilberung ohne Drahteinlage, so erscheint die Versilberung nach mehrmaliger Benutzung in merkwürdiger Weise angefressen. Der Metallbelag ist stellenweise verschwunden und dies längs zahllosen senkrecht zur Rohrachse stehenden, ringsumlaufenden sehr schmalen Streifen.

c) Ist das benutzte Rohr gebogen, so folgt die gleitende Entladung ohne Erschwerung dem Rohre als Leitlinie. Erst wenn sich Rohrteile soweit nähern, dafs die längs des Gleitbüschels bei Bildung herrschende Potentialdifferenz zum Überschlagen von Rohrteil zu Rohrteil durch die Luft genügt, wird natürlich dieser Weg gewählt. Es war also z. B. möglich, einen Gleitfunken einer mit Quecksilber gefüllten Glasrohrspirale (5 mm Rohrdurchmesser, 0,3 mm Wandstärke) von 4 cm Spiraldurchmesser und nur 2 cm Ganghöhe über mehr als fünf volle Rohrwindungen folgen zu lassen.

d) Läuft in einem Glasrohre die Rohrbelegung unter p_1 durch auch nach rückwärts hin fort, so bilden sich (wie auch im analogen Falle auf Glasplatten) von p_1 jeweils gleichzeitig nach beiden Seiten, nach a und b hin Gleitbüschel. Je nachdem ob das Büschel über a oder über b den Anschlufs an die Ableitung p_2 eher erreicht, findet Gleitfunkenbildung nach a oder nach b hin statt. Bemerkenswert und für manche Zwecke wohl nicht uninteressant ist es nun, dafs, solange der Weg über a von dem über b (gleiche Bahnbeschaffenheit vorausgesetzt) nicht mehr als etwa $10\,\%$ verschieden ist, sich meistens bei jeder Entladung sowohl auf dem Wege a wie über b ein Gleitfunken bildet. Es liegt also die experimentelle Möglichkeit vor, mit Sicherheit eine lange Funkenbahn in zwei Äste zu spalten.

Messungsergebnisse.

Die Tabelle I gibt die Messungsergebnisse auf einer Reihe von Glasrohren verschiedenen Durchmessers und verschiedener Wandstärke. Nach Analogie mit den Verhältnissen auf Glasplatten wird weder die eine noch die andere genannter Gröfsen allein, sondern die Kapazität der Glasrohrlängeneinheit für die Gleitfunkenlänge die wesentlichste Rolle spielen**).

*) Sehr störend wirkte auch bei Gleitfunkenerzeugung im Rohrinnern die eintretende Temperaturerhöhung, denn nach orientierenden Messungen wächst die Gleitfunkenlänge cet. par. angenähert proportional der absoluten Temperatur.

**) Die Rohre sind geordnet nach abnehmender Kapazität; die Nummerierung beginnt mit Nr. 3 in Fortsetzung der Zählung in der Arbeit Annalen 66, 1898, S. 1066.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Diese Kapazitäten, in bekannter Weise mittels Telephons bestimmt, sind in der zweiten Spalte der Tabelle angegeben.*)

Tabelle I (beobachtete Gleitfunkenlängen f in cm).

Rohrnummer Nr.	Kapazität der Rohrlängeneinheit c in cm	Wandstärke a in mm	Äußerer Rohrdurchmesser D in mm	Art des Metallbelages	F in cm Kilovolt	0,25 8,8	0,50 17,1	0,75 25,2	1,00 32,6	1,25 39,7	1,50 46,4	1,75 52,8
3	1,77	1,79	3,97	Quecksilb.		—	—	3,5*	4,1*	5,4	9,6	15,6
4	2,93	1,61	4,34	„		1,2*	2,1*	3,8*	6,6	12,8	23,3	34,5
5	4,80	0,94	2,62	„		—	—	3,6*	12,1	24,7	42,8	—
6	12,0	0,90	4,46	„		1,4*	7,0	19,4	41,6	77,5	129	—
7	12,7	0,85	5,83	„		1,3*	5,8	16,3	43,5	81	128	190
8	14,4	0,81	6,61	„		1,2*	5,9	18,0	43	82	126	182
9a	20,9	1,02	10,7	„		1,3*	6,9	20,5	52	102	—	—
9b		1,02	10,8	„		1,2*	7,0	22	55	—	—	—
10	51,4	0,30	9,1	Silber		1,2*	16	53	99	—	—	—
11	86,1	0,31	14,4	„		1,2*	22,5	64	—	—	—	—

Die Tabellenwerte zeigen zunächst, daſs man auch auf Glasrohren wieder zweierlei Funkenbildung zu unterscheiden hat, solche „durch Luft“ und solche „gleitend“. Die zu erster Kategorie gehörigen Werte sind in der Tabelle mit einem Sternchen versehen**).

Speziell bei gleitender Entladung erscheint als bemerkenswert die durch relativ sehr kleine Spannung erreichbare groſse Gleitfunkenlänge. Auf Glasrohr Nr. 8 wurden 2,1 m lange Funken mit dem mittleren Gefälle von nur 270 Volt-Zentimeter erzeugt!

Korrektion der Gleitfunkenlänge wegen ungenügender Kapazität der Batterie.

Vor Benutzung zu eingehenderer quantitativer Diskussion bedürfen die angegebenen Werte der zum Teil beträchtlichen Korrektion auf unendlich groſse Batteriekapazität. Wie bei dünnen Platten ist bei dünnwandigen Glasrohren die zur Ladung der Rohroberfläche während der Büschelbildung verbrauchte Elektrizitätsmenge sehr beträchtlich. Benutzt man nicht sehr groſse Batterien, so veranlaſst der genannte Elektrizitätsaufwand eine Verkürzung der für bestimmte Spannung erreichbaren Gleitfunkenlänge.

Für sehr groſse Kapazität würden natürlich die Gleitfunkenlängen schlieſslich jeweils einen bestimmten, von Kapazitätsvermehrung nicht mehr merklich abhängigen gröſsten Wert erreichen.

*) Die Angaben unter Rohr 9a und 9b beziehen sich auf das gleiche Rohr, nur wurden hier die Gleitfunken einmal nach dem einen, dann nach dem anderen Rohrende hin erzeugt.

**) Eingehenderes über den Unterschied „durch Luft“ und „gleitend“ ist zu finden in Ann. d. Phys. 21, 1906, S. 201.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Es sei die angelegte Spannung P, die bei voller Entwicklung des Gleitbüschels noch herrschende Spannung $P - \triangle P$, die hierbei wirklich erreichte Gleitbüschel- (Gleitfunken-) länge f, die bei beliebig grofser Kapazität (konstant bleibendem P) erreichbare gröfste Länge $f + \triangle f$ und das Wachstumsgesetz angenähert $f = \alpha . P^n$. Ist die benutzte Kapazität nicht zu klein, so dafs die Werte $\triangle P$ und $\triangle f$ klein bleiben, so lassen sich diese, und somit entweder die wirklich zur Länge f gehörige korrigierte Spannung $(P - \triangle P)$ oder die für die Spannung P gröfstmögliche, korrigierte Gleitfunkenlänge $(f + \triangle f)$ berechnen. Es ist nämlich $\triangle P : P$ gleich dem Verhältnisse der auf der Glasplattenoberfläche bei gröfster Gleitbüschelausbildung sitzenden Elektrizitätsmenge zu der in der Batterie ursprünglich vorhandenen, d. h. gleich $(c . \bar{P} . O) : (P . C)$, worin c die Kapazität der Plattenoberflächeneinheit, O die Gröfse der um p_1 herum geladenen Fläche, $\bar{P}$ den Mittelwert der Spannung auf dieser Fläche, P die an $p_1 p_2$ anfänglich gelegte Spannung (gleich der an der Primärfunkenstrecke F) und C die wirksame Kapazität der Batterie bedeutet. Liegt auf Platten der Pol p_1 fest nahe am Streifenende, so ist bei schmalem Streifen für Korrektionszwecke hinreichend genau $O = 0{,}15 . f^2$; auf Rohren dagegen ist $c . O$ gleich dem Produkt aus $f . c_c$, wo c_c die Kapazität der Rohrlängeneinheit bedeutet, anzunehmen. Ferner ist $\bar{P} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \cdot P$ zu setzen.*) Es wird somit für Platten $\triangle P = 0{,}15 \cdot \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \cdot \frac{c}{C} \cdot f^2$, (wobei auf Platten $n = 4$ zu setzen ist) und für Rohre $\triangle P = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \cdot \frac{c_c f}{C}$.

Natürlich kann man auch an Stelle der zum beobachteten f wirklich gehörigen Spannung $P - \triangle P$ die zur anfänglich angelegten Spannung P gehörige gröfstmögliche Gleitfunkenlänge $f + \triangle f$ berechnen; es ist nämlich $\triangle f = n . \alpha . P^{n-1} = n . f . \frac{\triangle P}{P}$, worin $\triangle P : P$ wie vorangehend angedeutet zu berechnen ist.

Wie aus den unkorrigierten Werten von Tab. I hervorgeht, ist die Gleitfunkenlänge auf Rohren in rohester Annäherung proportional der dritten Potenz der Spannung. Zum Zweck der Errechnung der Korrektion genügt dieser Ansatz jedenfalls innerhalb der Grenzen vorliegender Untersuchung. Mittels dieser Annahme würde sich dann die Korrektur der Funkenlänge zu

$$\triangle f = 3 \cdot \frac{0{,}642 . f^2 . c_c}{C} \cdot 2$$

rechnen (c_c Kapazität der Rohrlängeneinheit, C Batteriekapazität, f beobachtete Gleitfunkenlänge). Die Zahlfaktoren 3 und 0,64 entsprechen n und $\frac{n^2}{(2n+1)(n+1)}$ der vorangehend gegebenen Ableitung, während der Faktor 2 in vorliegendem Falle deshalb noch hinzuzufügen ist, weil bei den Ver-

*) Näheres über die Ableitung dieser Formel siehe Sitzungsberichte der naturwiss. Ges. Isis in Dresden 1906, S. 21.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

suchen auf Glasrohren der Metallinnenbelag nicht unter dem Pole p_1 endete, sondern nach rückwärts (p_2 abgewandt) fortlief, sodafs jeweils von p_1 aus durch zwei gleichzeitige Büschel vor und rückwärts von p_1 die Rohrlänge 2 f geladen wurde.*)

Tabelle II (korrigierte Längen f + △f in cm). | Tabelle III (Relativlängen).

Rohr Nr.	Kap. cc	F in cm Kilovolt	0,50 17,1	0,75 25,2	1,00 32,6	1,25 39,7	1,50 46,4	1,75 52,8	0,50 17,1	0,75 25,2	1,00 32,6	1,25 39,7	1,50 46,4	1,75 52,8
3	1,77		—	—	—	5,4	9,6	15,6	—	—	—	—	—	—
4	2,93		—	—	6,6	12,8	23,4	34,8	—	—	1,00	1,94	3,54	5,27
5	4,80		—	—	12,2	25,0	43,6	—	—	—	1,00	2,04	3,57	—
6	12,0		7,1	19,8	43,6	83,5	148	—	0,162	0,454	1,00	1,92	3,40	—
7	12,7		5,8	16,6	45,8	89	148	234	0,126	0,362	1,00	1,94	3,23	5,11
8	14,4		5,9	18,4	45,5	91	148	228	0,130	0,404	1,00	2,00	3,25	5,00
9a	20,9		7,0	21,3	57,4	123	—	—	0,122	0,371	1,00	2,14	—	—
9b			7,1	23	61	—	—	—	0,116	0,377	1,00	—	—	—
10	51,4		17,3	67,4	147,4	—	—	—	0,117	0,457	1,00	—	—	—
11	86,1		26,5	98	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
							Mittel:		0,129	0,404	1,00	2,00	3,40	5,13

Tabelle II gibt die in eben angegebener Weise auf unendlich grofse Batterie korrigierten Gleitfunkenlängen.

Abhängigkeit der Gleitfunkenlänge von Spannung und Kapazität der Rohrlängeneinheit.

Um das gemeinsame Gesetz des Gleitfunkenwachstums mit der Spannung hervortreten zu lassen, sind in Tabelle III schliefslich die jeweils auf die bei f = 1 cm beobachtete Gleitfunkenlänge als Einheit umgerechneten relativen Werte angegeben. Man sieht, trotz aller Unsicherheit der Einzelbestimmungen, dafs die Wertefolge der relativen Gleitfunkenlänge auf allen Rohren die gleiche ist.

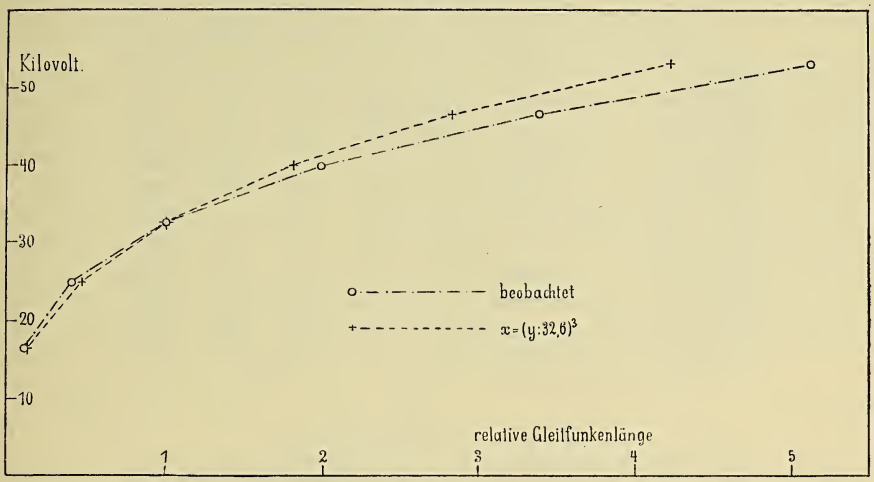
Der Verlauf der in letzter Zeile angegebenen Mittelwerte ist in Fig. 2 dargestellt. Soviel ist sicher zu erkennen, dafs nur in roher Annäherung das Gesetz f proportional P^3 erfüllt wird. Eine genauere Formulierung erscheint mir jedoch verfrüht.

*) Die Korrektionen sind zum Teil nicht unbeträchtlich. Die benutzte Kapazität (zweimal 16 Leydnerflaschen) betrug noch nicht die Hälfte der mir verfügbaren. Trotzdem habe ich mich mit Anwendung derselben begnügt, denn mit der wachsenden Kapazität nimmt auch die Stärke des Gleitfunkens und somit auch die Erschütterung des Rohres zu. Bedenkt man, dafs die Bestimmung jedes einzelnen der angegebenen Gleitfunkenlängenwerte derart erfolgte, dafs die Schlagweite jeweils bis zum Versagen schrittweise vergröfsert wurde und dafs die Tabelle Mittelwerte aus je fünf solchen Einzelbestimmungen gibt, so sieht man, dafs für jede Tabellenangabe mindestens 50 Gleitfunken nötig waren; Rohr Nr. 8 hat z. B. insgesamt über 700 Gleitfunken aushalten müssen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Auffallend einfach gestaltet sich dagegen auf Rohren die Abhängigkeit der Länge von der Bahnkapazität; trotz gröfster Unsicherheit im Einzelnen läfst sich doch der Satz aussprechen:

Fig. 2.



Die mit der gleichen Spannung auf verschiedenen Rohren erreichbare gröfste Gleitfunkenlänge ist proportional der Kapazität der Rohrlängeneinheit.

Vergleiche zwischen Platten und Rohren.

Wie schon bemerkt, besteht der prinzipielle Unterschied der Gleitfunkenbildung auf Platten und Rohren darin, dafs auf ersteren die Breite der Gleitbüschel, also des jeweils geladenen Oberflächengebietes nicht beschränkt festgelegt ist, sondern der Einregulierung durch den Prozefs der Büschelbildung selbst überlassen bleibt. Hierdurch ist bei der Gleitfunkenbildung auf Platten (und sehr weiten Rohren) ein Moment der Komplikation mehr vorhanden als auf (nicht zu weiten) Rohren; die Gesetze der gleitenden Entladung auf letzteren werden also die einfacheren und diejenigen auf Platten aus ihnen abzuleiten sein.

Bei Rohren war oben angenäherte Proportionalität zwischen der für bestimmte Spannung erreichbaren Länge und der Kapazität der Bahnlängeneinheit gefunden. Bei Platten ist letzterer analog die Kapazität, welche ein Oberflächenstreifen von der Breite gleich derjenigen des Büschels (und der Länge von 1 cm) besitzt. Die eben genannte Kapazität ist jedoch längs jedes Büschels auf Platten nicht konstant; die Büschelbreite nimmt ja vom Pole nach dem Büschelkopfe hin auf Platten ab. In nachstehenden Tabellen*) ist der Mittelwert eben genannter Breite angegeben. Er rechnet sich, wenn die Büschelfläche $k.f^2$ beträgt, zu $k.f$ und die in Rede stehende mittlere Kapazität der Büschellängen-

*) Soweit Beobachtungen auf Platten herangezogen sind, habe ich dieselben den früheren Angaben Ann. d. Phys. 21, 1906, S. 194, Tab. I, Tab. II, und S. 207, Tab. X entnommen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

einheit zu c . k . f, wo c wie früher die Kapazität der Plattenoberflächeneinheit bedeutet.

Tabelle IV (F = 0,75 cm).

	f beob.	c	k	mittlere Büschelbreite	f korr.	cc bez. c . k . f
Rohr 4	3,8	—	—	1,2	3,8	2,93
Platte 10	10,4	3,60	0,200	2,1	10,4	7,49
Platte 11	11,4	3,81	0,190	2,2	11,4	8,25
Rohr 7	16,3	—	—	1,8	16,6	12,7
Rohr 8	18,0	—	—	2,1	18,4	14,1
Rohr 6	19,4	—	—	1,3	19,8	12,0
Platte 12	19,7	4,96	0,150	3,0	19,9	14,8
Rohr 9a	20,5	—	—	3,4	21,3	20,9
Rohr 9b	22	—	—	3,4	23	20,9
Rohr 10	53	—	—	2,9	67,4	51,4
Rohr 11	64	—	—	4,5	98	86,1

Tabelle V (F = 1,00 cm).

	f beob.	c	k	mittlere Büschelbreite	f korr.	cc bez. c . k . f
Rohr 4	6,6	—	—	1,2	6,6	2,93
Rohr 5	12,1	—	—	0,8	12,2	4,80
Platte 8	13,5	2,05	0,180	2,4	13,6	5,02
Platte 9	19,2	2,36	0,150	2,9	19,4	6,87
Platte 10	30,8	3,60	0,120	3,8	31,8	13,7
Rohr 6	41,6	—	—	1,2	43,6	12,0
Rohr 8	43	—	—	2,1	45,6	14,4
Rohr 7	43,5	—	—	1,8	45,8	12,7
Platte 12	50,8	4,96	0,100	5,5	55,4	27,5
Rohr 9a	52	—	—	3,4	57,4	20,9
Rohr 9b	55	—	—	3,4	61	20,9
Rohr 10	99	—	—	2,9	147,4	51,4

Tabelle VI (F = 1,50 cm).

	f beob.	c	k	mittlere Büschelbreite	f korr.	cc bez. c . k . f
Platte 6	10,5	0,74	0,200	2,1	10,5	1,55
Platte 7	12,7	0,88	0,180	2,3	12,7	2,01
Rohr 3	15,6	—	—	1,2	15,6	1,77
Rohr 4	34,5	—	—	1,2	34,8	2,93
Platte 8	106	2,05	0,090	11,1	123	22,7
Platte 9	128	2,36	0,085	13,5	159	31,9
Rohr 8	182	—	—	2,1	228	14,4
Rohr 7	190	—	—	1,8	234	12,7

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die Tabellen IV und V lassen folgendes erkennen:

Auf den verschiedensten Platten und Rohren sind die jeweils für bestimmte Spannung erzielbaren gröfsten Gleitfunkenlängen (Gleitbüschellängen) proportional der (mittleren bei Platten) Kapazität der Bahnlängeneinheit. Hierbei ist die Proportionalitätskonstante die gleiche für Rohre und Platten.

Diese Beziehung gilt jedoch (vergl. Tabelle VI) nur so lange, wie die mittlere Büschelbreite und die Belagbreite (auf den herangezogenen Platten stets 2 cm) nicht allzuverschieden sind. Bei grofser Büschelbreite wächst die Länge schliefslich langsamer als proportional der genannten Kapazität.

Hiermit sind die Beobachtungen mit Platten im wesentlichen auf diejenigen mit Rohren reduziert. Speziell das eigentümliche Interpolationsgesetz*) für Platten $\alpha^2 . c^3 = \text{const.}$ (mit seinen Abweichungen auf dünnsten Platten) erscheint hiernach nur als eine durch die Inkonstanz der Büschelbreite auf Platten modifizierte Form des einfacheren Gesetzes $\alpha . c_c = \text{const.}$, wo c_c wie oben die freilich ihrerseits vom Gleitprozesse abhängig variable wirksame Kapazität der Bahnlängeneinheit bedeutet.

*) Vergl. Ann. d. Phys. 21, 1901, S. 206.

Physikal. Institut der Technischen Hochschule Dresden, 7. Juli 1907.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte und Abhandlungen der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft Isis in Dresden

Jahr/Year: 1907

Band/Volume: 1907

Autor(en)/Author(s): Toepler Max

Artikel/Article: III. Gleitfunken auf Glasrohren 1018-1025