**8. Ueber die Funkenpotentiale
in festen und tropfbarflüssigen Dielektricis;
von J. E. Almy.**

(Nach der Berliner Inaugural-Dissertation für die Annalen bearbeitet,
ein Auszug in den Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch. 1. p. 95. 1899
veröffentlicht.)

§ 1. Ueber das Funkenpotential in festen und tropfbarflüssigen Dielektricis liegen bereits verschiedene Untersuchungen vor¹⁾, doch verhältnismässig wenige Angaben, welche sich auf wohl definirtes Material beziehen; bei tropfbarflüssigen Körpern insbesondere scheint man den sehr bedeutenden Einfluss fester Fremdkörper nicht hinlänglich gewürdigt zu haben. Diese Erwägungen haben die vorliegende Untersuchung zunächst veranlasst.

Dieselbe zerfällt in zwei Teile, von denen der eine feste, der andere tropfbarflüssige Dielektrika behandelt.

I. Teil.

Feste Dielektrika.

§ 2. Der Funkenapparat, Fig. 1, war folgendermaassen eingerichtet: Die eine Elektrode, entweder eine Stahlspitze oder eine Messingkugel von 2 cm Durchmesser wurde auf dem Ende einer Kupferstange festgeschraubt und mit einem Kitte aus Wachs und Kolophonium in einer Glasröhre von 2,2 cm Durchmesser festgekittet. Dabei wurde die Elektrode so angebracht, dass die Kugel bez. die Spitze von der Ebene des abgeschliffenen Röhrenendes gerade berührt wurde. Die Glasröhre wurde vertical aufgestellt und die gut isolirte Elektrode

¹⁾ Vgl. Masson, Ann. de Chim et de Phys. (3) 30. p. 25. 1850; MacFarlane, Phil. Mag. (5) 10. p. 389. 1880; MacFarlane u. Pierce, Phys. Review, 1. p. 161 u. 2. p. 99. 1894; Monti, Beibl. 18. p. 249. 1894; L'Elettricista 2. p. 226. 1893; Steinmetz, Trans. Amer. Inst. Electr. Eng. 10. p. 84. 1893; Gray, Phys. Review 7. p. 199. 1898; Edmonson, Phys. Review 6. p. 65. 1898.

mit dem geladenen Pol der Elektrisirmaschine in Verbindung gebracht.

Ein Tropfen dicken, gut isolirenden Ols wurde unter die zu prüfende Platte aus Glas oder aus anderem Material gebracht und diese dann fest gegen die Elektrode und das Ende der Röhre gedrückt, wodurch Glimmentladung oder eine andere Art der Entladung der geladenen Elektrode durch die Luft verhindert wurde. Darauf wurde ein metallischer Cylinder *B*

Fig. 1.

Fig. 2.

mit ebenem, polirtem Ende als zweite Elektrode auf die Platte gesetzt; diese zweite Elektrode wurde zur Erde verbunden.

Eine durch einen kleinen Elektromotor betriebene Voss'sche Influenzmaschine lieferte die nötigen Potentialdifferenzen. Der Motor war mit einem Rheostaten versehen, sodass die Geschwindigkeit, mit der er lief, beliebig verändert werden konnte. Ein Pol der elektrischen Maschine wurde zur Erde abgeleitet, der andere wurde durch dicke Kupferdrähte mit einer Elektrode des Elektrometers und mit einer Elektrode des Funkenapparates verbunden. Eine mit der Erde in leitende

Verbindung gebrachte Stahlnadel konnte allmählich dem geladenen Pol der Influenzmaschine genähert oder von demselben entfernt, und dadurch das Potential des Pols langsam und stetig gesteigert werden. Es stellte sich dabei heraus, dass die Regulirung des Potentials am besten gelang, wenn der Pol der Maschine positiv geladen war; darum wurde, solange nicht die entgegengesetzte Polarität gebraucht wurde, immer diese Anordnung benutzt.

Elektrometer. ¹⁾

§ 3. Das zur Anwendung gelangende Elektrometer, eine modificirte Form des Schutzringeletrometers, war von Hrn. Kaufmann construirt und mir zur Verfügung gestellt worden.

Die untere Scheibe, eine Messingplatte mit sorgfältig abgerundeten Kanten, deren Durchmesser 7 cm und deren Dicke 0,5 cm betrug, war auf einem isolirenden Ständer befestigt und diente als feste und geladene Scheibe des Instrumentes. Die bewegliche Platte, eine dünnere Messingscheibe von 4 cm im Durchmesser, hing bifilar in einem festen Schutzring 2,5 cm über der festen Platte. Ein dünner, ungefähr 5 cm langer Messingstab war an der beweglichen Platte befestigt senkrecht über ihrem Mittelpunkt und trug den Spiegel und den Dämpfer, an dessen oberem Ende die Drähte der bifilaren Aufhängung befestigt waren. Diese Drähte bestanden aus Platin; einer von ihnen wurde einer Torsion unterworfen, sodass die Scheibe in einer Stellung gehalten wurde, welche sich um 90° von derjenigen unterschied, die sie einnahm, wenn beide Fäden torsionslos waren. Infolge dessen ist, wenn die feste Platte des Instrumentes geladen wird und eine senkrecht nach unten gerichtete Anziehungskraft ausübt, die resultirende Bewegung der Platte eine Rotation. Die Grösse dieser Rotation wurde mit Hülfe von Fernrohr und Scala gemessen.

Die bewegliche Scheibe, der Schutzring und alle damit zusammenhängenden Teile des Apparates wurden zur Erde abgeleitet; die feste Platte war mit der geladenen Elektrode des Funkenapparates verbunden. Zur Dämpfung diente ein grosser Toepler'scher Luftdämpfer, mit welchem die Ab-

1) Vgl. Fig. 2.

lesungen schnell gemacht werden konnten. Diese Form des Apparates hat vor dem gewöhnlichen Schutzringelectrometer den Vorzug, direkte Ablesungen zu gestatten.

Das zu diesen Messungen benutzte Instrument war nicht genau genug construiert, um als absolutes Instrument dienen zu können, wie dies bei einem genau construierten und richtig justirten Instrument dieser Art möglich ist. Es wurde theils durch Vergleichung mit einer Luftfunkenstrecke nach den Angaben von Heydweiller¹⁾, theils durch Vergleichung mit der von Hrn. Orgler²⁾ benutzten Potentialwaage geachtet. Die Aichung ergab, z. B.:

Ablenkung, verursacht durch eine Potentialdifferenz von 104,3 elektrostatischen C.G.S.-Einheiten		
Jan. 14	256	Scalenteile
„ 15	250	„
„ 17	255	„
„ 19	256	„
„ 20	255	„
„ 25	245	„

§ 4. Die Versuche der §§ 4—6 wurden mit Mikroskopdeckgläschen gemacht. Da jedoch beträchtliche Differenzen in Platten von nahezu derselben Dicke gefunden wurden, so wurde jede Reihe von Beobachtungen auf eine einzige Platte beschränkt, und es wurden unter zwei verschiedenen Bedingungen die beiden Prüfungen an Stellen vorgenommen, die einander so nahe wie möglich waren, um einen Mangel an Homogenität in der Platte zu vermeiden.

Zuerst wurde, mit einer Spitze und einer ebenen Platte als Elektroden, die Polarität der Elektroden verändert, um zu bestimmen, ob das Funkenpotential von der Polarität der Elektroden abhängt, wenn die Elektroden ungleich sind. Die hierunter mitgetheilten Versuchsergebnisse zeigen, dass eine ein wenig grössere Potentialdifferenz erforderlich ist, um eine Entladung durch eine gegebene Platte hervorzubringen, wenn die Spitze negativ, als wenn sie positiv geladen war; dass aber

1) A. Heydweiller, Wied. Ann. 48. p. 214. 1893.

2) A. Orgler, Ann. d. Phys. 1. p. 159. 1900. Ausführlich Berliner Dissertation.

der Betrag dieser Differenz klein, und für die verschiedenen geprüften Platten verschieden ist.

Tabelle I, 1.

Polarität der Spitzenelektrode	+	—	+	—	+	—
Funkenpotential in C.G.S.-Einh.	65,6	71,1	66,5	70	67	70,5
Dicke der Platte in cm	0,0655	0,0655	0,0654	0,0656	0,0656	0,0655
<u>Funkenpotential</u> <u>Dicke</u>	1001	1080	1015	1070	1020	1070

Tabelle I, 2.

Polarität der Spitzenelektrode	+	—	+	—
Funkenpotential	86,4	87	85,6	86,4
Dicke der Platte	0,0725	0,0725	0,0725	0,0720
<u>Funkenpotential</u> <u>Dicke der Platte</u>	1190	1200	1180	1200

Die bei allen geprüften Platten erhaltenen Differenzen waren Werte, welche zwischen den hier angegebenen, d. h. zwischen 2 und 6 Proc. lagen.

Sodann wurden mit einer Kugel von 2 cm Durchmesser und einer ebenen Platte als Elektroden ähnliche Beobachtungen angestellt; doch konnte kein merklicher Unterschied beobachtet werden, gleichviel ob die Kugel positiv oder negativ geladen war.

Tabelle II.

Polarität der Kugelelektrode	+	—	+	—	+	—
Funkenpotential	75	75,3	75,5	74,2	75,5	75,3
Dicke der Platte	0,067	0,067	0,067	0,067	0,0675	0,067
<u>Funkenpotential</u> <u>Dicke der Platte</u>	1120	1124	1127	1109	1118	1124

§ 5. Das Funkenpotential ist grösser zwischen Kugel und Ebene, als zwischen Spitze und Ebene. Die Versuche stimmten nicht gut überein, ergaben aber in allen Fällen deutlich eine Differenz, nicht kleiner als etwa 5 Proc.

Tabelle III.

Elektroden	Spitze und Ebene				Kugel (Rad. = 1 cm) und Ebene			
Funkenpotential	66	65,7	68	68,5	69	71,7	72,6	74,2
Dicke der Patte (cm)	0,0655	0,0656	0,066	0,0665	0,0645	0,066	0,0665	0,0675
Funkenpotential Dicke der Platte	1007	1001	1030	1030	1070	1080	1090	1120

§ 6. Um den Einfluss der Temperatur des Dielektricum zu bestimmen, wurde die Elektrode des Funkenapparates in geschmolzenem Schwefel eingebettet. Nachdem der Schwefel wieder hart geworden war, wurde der Apparat einer Temperatur von 100° C. ausgesetzt. Das Funkenpotential wurde für eine gegebene Glasplatte zuerst bei der Temperatur des Zimmers, 18° C., dann bei einer höheren Temperatur in der Nähe von 100° C. und schliesslich wieder bei der tieferen Temperatur bestimmt. Die Veränderungen mit der Temperatur waren nicht grösser als die Differenz zwischen aufeinander folgenden Beobachtungen bei constanter Temperatur.

§ 7. Das Funkenpotential ergibt sich grösser, wenn ein constantes Potential langsam gesteigert, als wenn die Oscillationsweite eines oscillirenden Potentials allmählich erhöht wird. Dies geht aus folgendem Versuche hervor: Ein Luftfunkenmikrometer, welches Kugelelektroden von 2 cm Durchmesser hatte, wurde im Nebenschluss mit dem Funkenapparat verbunden, der Glas zwischen seinen Elektroden hatte. Das Entladungspotential für eine gegebene Platte wurde zuerst bestimmt, wenn der Nebenstromkreis vollständig ausser Betracht kam; demnächst wurden die Elektroden des Funkenmikrometers näher aneinander gebracht, sodass die Entladung ihren Weg eher durch die Luft nahm, als durch das Glas in dem anderen Stromkreis; wenn dann eine schnelle Folge von Funkenentladungen beständig statthatte, so wurden die Elektroden allmählich voneinander entfernt, bis die Entladung ihren Weg durch das feste Dielektricum in den anderen Zweigstromkreis nahm.

Nimmt man die Potentialdifferenz, welche der grössten Luftstrecke entspricht, die man erhält, ehe die Entladung ihren Weg durch das feste Dielektricum nimmt, als Entladungspotential für dieses, so erhält man, wenn das benutzte Potential oscillirt, einen kleineren Wert für das Funkenpotential, als wenn das benutzte Potential keinen Oscillationen unterworfen ist.

Die Beobachtungen wurden auf die verschiedenen, genügend bestimmten Arten von Jenenser Glas, die zur Hand waren, und auf Glimmer ausgedehnt. Die verschiedenen Glassorten, deren chemische Zusammensetzung in § 10 angegeben ist, sind hier durch eine Zahl bezeichnet. Die folgenden Reihen von Beobachtungen zeigen die Grösse der Aenderung in dem Funkenpotential für die verschiedenen Substanzen¹⁾:

Tabelle IV.

Dielek- tricum	Dicke der Platte in cm	Nicht oscillirendes Potential		Oscillirendes Potential		
		Funken- potential in C.G.S.- Einh.	Funken- potential Dicke	Schlag- weite in Luft bei 18° C. in cm	Ent- sprechende Potential- differenz	Funken- potential Dicke
					Funken- potential	
Glas I	0,150	113,5	750	0,92	97,0	650
Glas IV	0,160	133,0	820	1,15	114,0	710
Glas V	0,076	128,0	1720	0,90	96,0	1260
Glas VI	0,041	111,8	2720	0,80	86,5	2110
Glas XI	0,041	138,0	3370	0,84	90,4	2200
Glimmer	0,0033	70,3	22000	0,17	24,4	7320
	0,006	124,0	20600	0,255	32,5	5420

Es ist interessant, aus der Arbeit von Gray²⁾, welcher Wechselstrom und Inductor anwandte, zu citiren, dass der Wert des Verhältnisses $\frac{\text{Funkenpotential}}{\text{Funkenlänge}}$, der für Glimmer — der einzigen Substanz, für welche Vergleichung möglich ist gefunden wurde, 6660 war, ein Wert von ungefähr derselben Grössenordnung, wie er hier mit oscillirendem Potential er-

1) Bei Paraffin wurde dieser Unterschied fast gar nicht bemerkbar.

2) T. Gray, Phys. Rev. 7. p. 65. 1898.

halten wurde, der ausserdem viel kleiner als der ist, welcher mit constantem, langsam gesteigertem Potential erhalten wird.

Würde auch die Luft das beschriebene Verhalten zeigen, so würden die für den Fall oscillirenden Potentials angegebenen Werte des Funkenpotentials zu klein sein, der gezogene Schluss aber jedenfalls richtig bleiben. Das Funkenpotential für constantes Potential ist also von den Funkenpotential für oscillirendes Potential, bei festen Dielektrici, wohl zu unterscheiden.

§ 8. Die Untersuchung verschiedener Substanzen (§§ 8 bis 10) wurde auf den Fall constanten Potentials beschränkt. Zu Elektroden wurden Kugel (Radius 1 cm) und Ebene genommen, da die Aenderungen, die durch Wechsel der Polarität entstehen, hier zu vernachlässigen sind. Zunächst wurden Platten sehr verschiedener Dicke aus Jenenser Glas I („709“) untersucht, dessen Zusammensetzung in § 9 angegeben ist. Dieses Glas hat den Brechungsexponenten 1,5632, sein Elasticitätsmodul ist $6,76 \cdot 10^{11}$ C.G.S., sein specifischer Widerstand bei 220° C. ist $1,74 \cdot 10^{10}$ Ohm.

Die benutzten Platten, welche, wie es schien, aus einem Stück geschnitten waren, wurden bis zu den verschiedenen verlangten Dicken abgeschliffen. Es wurden nachträglich auch kleine Teile der dickeren Platten bis zur Dicke der dünnsten abgeschliffen und untersucht; die so erhaltenen Resultate stimmen mit denen der anderen Platten überein. Die grösste erreichbare Genauigkeit, d. h. der Grad der Uebereinstimmung zwischen verschiedenen Beobachtungen an derselben Platte, übersteigt im allgemeinen nicht ca. 5 Proc. Alle Messungen sind in elektrostatischen C.G.S.-Einheiten angegeben (vgl. Tab. V).

Die Beobachtungen sind zum Teil Mittelwerte aus Beobachtungen an verschiedenen Platten gleicher Dicke.

Der Quotient $\frac{\text{Funkenpotential}}{\text{Dicke}}$ nimmt mit wachsender Dicke ab; die Beziehung zwischen Funkenpotential (V) und Plattendicke oder Schlagweite (d) lässt sich für die benutzten kleinen, im Verhältnis von 1:5 variirten Schlagweiten darstellen durch die empirische Formel $V = \alpha d + \beta$, wo $\alpha = 420$, $\beta = 41,5$.

Die vierte Columnne enthält die nach dieser Formel berechneten Werte des Funkenpotentials.

Die Columnen 6 und 7 der Tabelle, welche aus Bestimmungen

Tabelle V.

Glas I. („709“) $\begin{cases} \alpha = 420 \\ \beta = 41,5. \end{cases}$

Dicke der Platte	Funken- potential beob.	Funken- potential	Funken- potential berechnet	Differenz in Procenten	Funkenpotential für diese Schlag- weite in Luft (Paschen)	Funken- potential in Glas		Luft-Schlagweite, welche dem Potential von Col. 2 entspricht	Schlagweite	
		Dicke				Funken- potential in Luft	in Luft		Schlagweite in Glas	
0,041	58,6	1480	58,7	-0,2	8,21	7,14	0,505		12,3	
0,055	67,0	1220	64,6	3,6	10,20	6,56	0,591		10,7	
0,061	71,1	1160	67,9	5,0	10,91	6,52	0,64		10,4	
0,100	77,0	770	83,5	-7,6	15,86	4,90	0,695		6,95	
0,110	87,5	795	87,7	-0,2	16,76	5,22	0,80		7,29	
0,125	94,5	752	94,0	0	18,80	5,00	0,88		7,04	
0,138	100,0	724	99,6	0,4	20,32	4,92	0,966		7,00	
0,142	104,0	730	101,1	2,8	20,72	5,02	1,00		7,27	
0,150	113,5	750	104,5	9,0	21,92	5,18	1,13		7,50	
0,160	114,5	710	109,7	4,7	23,10	4,95	1,15		7,17	
0,175	120,1	690	115,0	4,0	24,80	4,84	1,24		7,05	
0,216	132,0	612	132,2	-0,1	29,30	4,50	1,47		6,80	
0,220	133,0	605	133,9	-0,7	29,75	4,47	1,48		6,70	
0,228	135,0	596	137,3	-1,7	30,60	4,41	1,55		6,80	

von Paschen¹⁾ berechnet sind, sind beigegeben zur Vergleichung des Funkenpotentials von Luft und Glas bei gleichen Funkenlängen; die Columnen 8 und 9 dagegen dienen zur Vergleichung der Funkenlängen in beiden Medien für gegebene Potentialdifferenzen.

§ 9. Nunmehr wurde das Funkenpotential verschiedener Glassorten bestimmt. Von fünf verschiedenen Jenenser Gläsern wurden Proben von Hrn. Schott und Genossen freundlichst geliefert; es waren dies Glassorten, deren Zusammensetzung hinlänglich bekannt ist und von deren physikalischen Eigenschaften viele bestimmt sind.

Die Zusammensetzung dieser Gläser war folgende:

Glas	Procentgehalt									
	As ₂ O ₃	BaO	B ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Mn ₂ O ₃	Na ₂ O	PbO	SiO ₂	ZnO
I (709 ^o)	0,4	—	—	—	—	0,06	17,0	—	70,54	12,0
IV (1722 ^o)	0,4	5	—	—	—	0,06	17,0	2,6	69,54	5,3
V (512 ^o)	0,3	—	2,5	—	15	0,04	5,0	—	70,37	13,5
VI (1675)	0,3	—	2,6	4,5	16	0,08	6,0	2,9	67,62	—
XI (1766)	0,2	3	—	—	8	0,10	4,5	36,0	48,2	—

Das Funkenpotential einiger dieser Glassorten war so gross, dass nur dünne Platten gebraucht werden konnten.

Tabelle VI.

Glas	Dicke der Platte in cm	Funkenpotential in C.G.S.-Einh.	Funkenpotential Dicke der Platte
I („709 ^o “)	0,041	58,6	1480
	0,142	104,3	735
	0,228	135,0	596
IV („1722 ^o “)	0,149	118,6	800
	0,160	133,0	830
V („512 ^o “)	0,076	127,5	1710
VI („1675 ^o “)	0,041	109,8	2680
XI („1766 ^o “)	0,041	137,0	3350

Die folgende Tab. VII enthält den specifischen Ohm'schen Widerstand einiger dieser Glassorten nach Denizot²⁾, ihren

1) F. Paschen, Wied. Ann. **37**. p. 79. 1889.

2) A. Denizot, Inaug.-Diss., Berlin 1897.

Brechungsexponenten für Licht und ihre Leitfähigkeit für Wärme nach Focke¹⁾, ihren Elasticitätsmodul nach Winkelmann und Schott²⁾; endlich den Quotient, $\frac{\text{Funkenpotential}}{\text{Dicke}}$ einer 0,041 cm dicken Platte.

Tabelle VII.

Glas	Brechungs- exponent	Elasticitäts- modul in cm, g	Wärme- leitungsver- mögen in C.G.S.-E.	Specifischer Widerstand bei 220° C. in Ohms	Funkenpot. Schlagweite für eine Schlagweite von 0,041 cm
I	1,5132	$6,76 \cdot 10^{11}$	$2,46 \cdot 10^{-3}$	$1,74 \cdot 10^{10}$	1430
VI	1,5174*	$7,19 \cdot 10^{11}$ *	$3,39 \cdot 10^{-3}$ *	$2,41 \cdot 10^{13}$	2680
XI	1,5708*	$6,64 \cdot 10^{11}$ *	$2,41 \cdot 10^{-3}$ *	$3,7 \cdot 10^{14}$	3350

* Diese Werte gehören einigen Glasarten, die nicht ganz genau mit VI und XI identisch sind, aber sehr nahezu ihrer Zusammensetzung nach.

Man erhält also dieselbe Reihenfolge der Glassorten, mag man sie nach dem Ohm'schen Widerstand oder nach der elektrischen Festigkeit ordnen; doch wächst die elektrische Festigkeit verhältnismässig langsam mit zunehmendem Ohm'schen Widerstand.

§ 10. Unter den festen Dielektriciis wurden noch Glimmer, Quarz, Paraffin und Ebonit untersucht.

Glimmer.

Das Vorhandensein von Luftzwischenräumen zwischen den verschiedenen Schichten einer Platte ruft einen beträchtlichen Unterschied in dem Funkenpotential hervor, biegt man die Platte so, dass die verschiedenen Schichten voneinander getrennt werden, so verkleinert man das Funkenpotential. Die folgende Beobachtungsreihe ist an Platten gemacht worden, die soweit wie möglich von Unvollkommenheiten frei waren. Die dritte Columnne ist nach der Formel

$$V = \alpha d + \beta \quad \text{mit} \quad \begin{cases} \alpha = 18800 \\ \beta = 10 \end{cases}$$

berechnet.

1) Th. M. Focke, Wied. Ann. **67**. p. 133. 1899.

2) A. Winkelmann u. O. Schott, Wied. Ann. **61**. p. 103. 1897; **51**. p. 697. 1894.

Tabelle VIII.

Glimmer $\begin{cases} \alpha = 18800 \\ \beta = 10. \end{cases}$

Dicke der Platte in cm	Funkenpotential in C.G.S.-Einheiten		Differenz in Procenten	Quotient, $\frac{\text{Funkenpot.}}{\text{Dicke}}$
	beob.	ber.		
0,0031	68,8	68,28	0,7	22 300 C.G.S.
0,0032	70,3	70,16	0,2	22 000 „
0,0035	77,5	75,96	2,0	22 100 „
0,0036	78,3	77,68	1,7	21 700 „
0,0060	122,3	122,8	-0,4	20 370 „

Quarz.

Es wurden parallel und senkrecht zur optischen Axe geschnittene Platten untersucht, wobei sich zeigte, dass das Funkenpotential im ersten Falle, also wenn die Entladung in der zur optischen Axe senkrechten Richtung stattfindet, grösser ist. In derselben Richtung ist, nach Warburg und Tegetmeier¹⁾, der Ohm'sche Widerstand des Quarzes am grössten.

Tabelle IX.

Quarz.

Quarzplatte, geschnitten	Dicke der Platte in cm	Funkenpotential in C.G.S.-Einh.	Funkenpotential $\frac{\text{Dicke der Platte}}$
senkrecht zur optischen Axe }	0,020	76,4	3370
parallel zur optischen Axe }	0,020	102,6	5130

Paraffin.

Die Herstellung dünner Paraffinplatten, die frei von Poren und anderen Unvollkommenheiten waren, ist mir nicht gelungen. Ich setze die folgenden Beobachtungen nur zur Vergleichung mit den Monti'schen hierher und berechne nur diese, denen ich den Vorzug vor den meinigen gebe, nach der Formel $V = \alpha d + \beta$. Die folgenden Messungen beziehen sich auf die

1) E. Warburg u. F. Tegetmeier, Wied. Ann. **32**. p. 447. 1887; auch **35**. p. 455. 1888.

besten Platten, welche ich erhielt und stimmen ziemlich gut mit den Ergebnissen von Monti, der sein Paraffin im luft-leeren Raum schmolz, um Luftblasen zu vermeiden.

Tabelle X.

Paraffin $\left\{ \begin{array}{l} \alpha = 3560 \\ \beta = 17,2. \end{array} \right.$

Schlag- weite in cm	Nach Monti				Meine Beobachtungen	
	Funkenpotential in C.G.S.-Einh.		Diff. in Proc.	F.-Pot. Schlagw.	Dicke d. Platte	Funkenpot. Dicke d. Platte in C.G.S.-Einh.
	beob.*	ber.				
0,0156	72,7	72,7	0	4660	0,015	4200
0,0219	95,8	95,1	0,7	4380	0,023	4290
0,0259	108,0	111,4	- 3,1	4170	0,030	4290
0,0281	118,3	117,2	0,9	4200	0,0335	4240
0,0359	145,0	145,0	0	4040	—	—

* Mit Kugelelektroden von 0,8 cm Durchmesser.

Ebonit.

Die Platten, welche mir zur Verfügung standen, konnten nicht bis auf Dicken kleiner als 0,015 cm abgeschliffen werden, ohne dass kleine Poren auftraten. Eine 0,015 cm dicke Platte wurde jedoch von der grössten messbaren Potentialdifferenz — ca. 140 C.G.S.-Einh. — nicht durchschlagen, sodass Bestimmungen des Funkenpotentials nicht vorgenommen werden konnten.

II. Teil.

Flüssige Dielektrica.

§ 11. Die Hauptschwierigkeit bei der Bestimmung des Funkenpotentials in einem tropfbar flüssigen Dielectricum — eine Schwierigkeit, welche, soweit aus den veröffentlichten Arbeiten geschlossen werden darf, bisher noch nicht überwunden ist — liegt in der Reinigung der Flüssigkeit von kleinen, festen Bestandteilen, wie vom atmosphärischen Staub oder sonstigen Fremdkörpern, die sich stets in einer Flüssigkeit finden. Derartige feste Teilchen werden sofort dorthin gezogen, wo die elektrische Kraft am grössten ist, d. h. gerade zwischen die Elektroden, und daher erleichtern sie, entweder

weil sie infolge ihrer Eigenschaft als gute Leiter wie Elektroden wirken, oder weil die Funkenentladung längs der Berührungsfläche beider Dielektrica eher einzutreten scheint¹⁾, die Entladung, sodass die Funkenentladung bei einer viel niedrigeren Potentialdifferenz stattfindet, als dies der Fall sein würde, wenn die festen Teilchen entfernt wären. Auch entstehen durch die Funkenentladung neue feste Teilchen, wahrscheinlich aus Kohlenstoff, da die benutzten Dielektrica gewöhnlich Kohlenwasserstoffe sind.

Ein flaschenförmiges Gefäß (vgl. Fig. 3) hatte einen weiten Hals, der eine poröse Zelle gerade aufnehmen konnte; der Hals des Gefäßes verengte sich gerade über dessen Bauch, sodass die poröse Zelle nicht in den Bauch hinabsinken konnte; ein Gummiring um den oberen Rand der Zelle verschloss den Zwischenraum zwischen Zelle und Flasche. Der Bauch der Flasche war mit mehreren Oeffnungen versehen; zwei an entgegengesetzten Seiten waren durch Stopfen verschlossen, welche die Elektroden hielten; eine dritte am oberen Ende stellte eine Verbindung mit einer Luftpumpe her, mittels welcher der Apparat teilweise luftleer gemacht und das Filtriren beschleunigt werden konnte. Die Elektroden, Messingkugeln von 2 cm Durchmesser, wurden auf die Enden von dicken Messingstangen geschraubt, und diese gingen durch die Gefäßöffnungen, durch die Glasstopfen des Apparates, in die sie auch eingekittet waren. Eine auch durch einen Stopfen verschliessbare Oeffnung den Elektroden gegenüber erlaubt eine genaue Messung der Entfernung beider Elektroden mittels des Opthalmometers. Schliesslich diente eine Röhre, welche von dem Boden der Flasche ausging und durch einen Hahn verschliessbar war, zur Leerung des Apparates. Alle Oeffnungen waren luftdicht

Fig. 3.

1) E. D. Pierce, *Phys. Rev.* 2. p. 99. 1894.

verschiessbar. Wenn Luft in den Apparat gelassen wurde, um die Flüssigkeit herauszutreiben, um den Apparat zu spülen etc., so musste sie erst durch feine Gaze und durch eine Reihe von Wasser- und Schwefelsäureflaschen streichen, um frei von Staub und trocken zu werden.

Es stellt sich heraus, dass ein einziger Funke bereits feste Teilchen bildete, sodass nochmaliges Filtriren der Flüssigkeit und nochmaliges Ausspülen des Apparates nach jeder Beobachtung nötig wurde. Späterhin erwies sich, selbst nach vollständigem Ausspülen, das Funkenpotential kleiner als vor dem ersten Funken.

Eine Untersuchung der Elektroden ergab, dass sich infolge der Entladung ein oder mehrere kleine, hervorstehende Punkte gebildet hatten. Erst nachdem die Elektroden wieder polirt worden waren, war das Funkenpotential wieder so hoch wie für die erste Entladung.

Folgende Beobachtungen, welche sich auf Xylol und eine Funkenlänge von 0,04 cm beziehen, zeigen wie sehr das Funkenpotential durch die Reinigung der Flüssigkeit und auch der Elektrode erhöht wird.

Bedingungen:	Funkenpotential:
1. Gewöhnliches reines Xylol in offenem Gefäss	10—20 C.G.S.-Einheiten
2. Durch Seide filtrirt, in offenem Gefäss	25—40 „ „
3. Durch Thonzelle filtrirt, in geschlossenem Gefäss nach einem Funken	55—65 „ „
4. Desgleichen, ehe ein Funke überging, Elektrode nicht frisch polirt	80—85 „ „
5. Desgleichen, ehe ein Funke überging, Elektrode frisch polirt	93 „ „

Die Werte des Funkenpotentials, die von früheren Experimentatoren ¹⁾ erhalten wurden, sind von derselben Grössenordnung wie die, welche unter den obigen Bedingungen 1. und 2. erhalten wurden; zum Beispiel sind die für eine Funkenlänge von 0,06 cm angegebenen Werte folgende:

1) Vgl. MacFarlane, Gray, Pierce, Edmonson, l. c.

	Edmonson	Mac Farlane
für Xylol	14 C.G.S.-Einh.	—
„ Terpentinöl	23 „ „	18 C.G.S.-Einh.
„ Petroleum	—	10 „ „

Daraus darf man wohl schliessen, dass diese Bestimmungen durch die Gegenwart fester Teilchen in hohem Maasse beeinflusst waren. Nach dem Vorstehenden ist es notwendig, zwischen aufeinander folgenden Beobachtungen den Apparat auseinander zu nehmen, die Elektroden wieder zu poliren, die Entfernung der Elektroden zu messen und schliesslich den Apparat sorgfältig mit filtrirter Flüssigkeit auszuwaschen.

§ 12. In der dem beschriebenen Reinigungsprocesse unterworfenen Flüssigkeit konnten mit blossem Auge oder mit einer Lupe keine festen Teilchen gesehen werden. Lichtstrahlen, durch die Flüssigkeit geschickt, erleuchteten dieselbe zwar noch, aber in sehr viel geringerem Maasse als Flüssigkeit, welche durch Filtrirpapier oder durch Destillation gereinigt war, und nicht mehr zwischen den geladenen Elektroden als an anderen Stellen. Das senkrecht zur Strahlenrichtung ausgesandte Licht war vollständig geradlinig polarisirt, was gegen die Gegenwart gröberer Teilchen spricht, endlich hat dieses Licht einen bläulichen Ton, was auf Reflexion an Teilchen deutet, die klein sind gegen die Wellenlänge des Lichtes, sei es an fremden Teilchen, sei es an Flüssigkeitsmoleculen.

Diese optische Prüfung, welche nur an dem nicht fluorescirenden Benzol vorgenommen werden konnte, spricht dafür, dass Störung durch feste Fremdkörper vermieden ist.

Beobachtungen.

§ 13. Die Elektroden hatten 1 cm Radius. Verschiedene Beobachtungen bei gleicher Schlagweite stimmten bis auf etwa 3 Proc. überein. Auch bei den untersuchten tropfbaren Flüssigkeiten liessen sich die Ergebnisse durch die Formel $V = \alpha d + \beta$ darstellen.

Terpentinöl.

Käufliches Terpentinöl wurde in einem Glasapparat destillirt und dann, wie beschrieben, im Funkenapparat verwandt.

Tabelle XI.

$$\text{Terpentinöl} \begin{cases} \alpha = 1410 \\ \beta = 20. \end{cases}$$

Schlagweite in cm	Funkenpot., C.G.S.-Einh.		Differenz in Procenten	Funkenpotential Schlagweite
	beobachtet	berechnet		
0,0184	46,0	45,94	0,1	2500
0,0354	69,0	70,19	- 1,7	1950
0,046	86,9	84,9	2,0	1890
0,065	111,7	111,7	0	1720
0,067	119,0	114,6	4,0	1770
0,086	135,7	140,7	- 3,6	1570

Petroleum.

Es wurde käufliches Petroleum verwandt; Destilliren desselben veränderte das Funkenpotential nicht.

Tabelle XII.

$$\text{Petroleum} \begin{cases} \alpha = 1920 \\ \beta = 20,16. \end{cases}$$

Schlagweite in cm	Funkenpot., C.G.S.-Einh.		Differenz in Procenten	Funkenpotential Schlagweite
	beobachtet	berechnet		
0,016	46,0	51,1	- 10,0	2870
0,026	72,0	70,1	2,7	2770
0,028	74,5	73,9	0,8	2660
0,0341	86,5	85,7	1,0	2530
0,046	105,7	108,4	- 2,6	2300
0,052	121,0	120,0	0,9	2320
0,053	118,5	121,9	- 2,8	2270

Xylol.

Es wurde chemisch reines Xylol benutzt, und dieses von mir frisch überdestillirt.

Tabelle XIII.

$$\text{Xylol} \begin{cases} \alpha = 1340 \\ \beta = 40. \end{cases}$$

Schlagweite in cm	Funkenpot., C.G.S.-Einh.		Differenz in Procenten	Funkenpotential Schlagweite
	beobachtet	berechnet		
0,024	72,0	72,1	−0,1	3000
0,032	83,2	82,9	0,4	2600
0,044	97,0	98,9	−2,0	2200
0,054	110,0	112,3	−2,0	2040
0,0595	118,0	119,7	−1,0	1990
0,0635	125,0	125,4	0,1	1985
0,064	125,6	125,8	−0,1	1990
0,067	131,5	129,8	−1,3	1950

Tabelle XIV.

Benzol.

Schlagweite in cm	Funkenpotential, C.G.S.-Einh.	Funkenpotential
		Schlagweite
0,045	98,5	2180
0,054	114,0	2130

An dieser Flüssigkeit wurde festgestellt, dass die Potentialdifferenz, welche erforderlich war, damit ein zweiter Funke in dem noch ungereinigten Apparat übergang, nur ungefähr ein Zehntel der Potentialdifferenz des ersten Funkens betrug.

§ 14. Die Resultate des § 9 veranlassten mich, das Funkenpotential einer 5proc. Lösung von Anilin in Xylol zu prüfen, welche ein erheblich grösseres Ohm'sches Leitungsvermögen als das reine Xylol besitzt.

Schlagweite in cm	Funkenpotential, C.G.S.-Einh.	Funkenpotential	Werte d. Quotients für reines Xylol
		Schlagweite	
0,044	96,0	2180	2200
0,0455	97,0	2085	2090

Der Anilinzusatz hat also das Funkenpotential kaum verändert; dabei zeigte sich die vergrösserte Ohm'sche Leitung durch die sehr starke Strömung zwischen den Elektroden, und dadurch, dass das Funkenpotential nur mit Mühe erreichbar war.

Es ist dabei indessen zu beachten, dass die besser leitende Flüssigkeit von der Stelle vertrieben wird, wo die elektrische Intensität am grössten ist und wo daher Funkenentladung stattfindet, wie dies nachweislich unter anderen Bedingungen der Fall ist¹⁾, und dass infolge dessen die Flüssigkeit, für welche das Entladungspotential wirklich bestimmt wurde, auch in diesem Falle ganz oder sehr nahezu reines Xylol sein kann.

§ 15. Bei der Untersuchung an festen Dielektriciis haben wir gesehen (§ 5), dass das Entladungspotential für eine gegebene Dicke verschieden ist, wenn verschieden gestaltete Elektroden angewandt werden. Baille²⁾ und Paschen³⁾ haben gezeigt, dass sich die Funkenpotentiale in Luft bei Anwendung von Kugelelektroden beträchtlich mit der Grösse der Elektroden ändern, und zwar, dass bei kleinen Schlagweiten das Entladungspotential mit abnehmendem Kugelradius wächst. Etwas Aehnliches findet auch bei tropfbar flüssigen Dielektriciis statt, wie die folgenden Beobachtungen zeigen:

Tabelle XV.

Xylol.

Schlagweite in cm	Mit Kugelelektroden, Radius 0,1 cm		Mit Kugelelektroden, Radius 1 cm	
	Funkenpot. in C.G.S.-Einh.	Potential Schlagweite	Funkenpot. in C.G.S.-Einh.	Potential Schlagweite
0,0132	58,6	4440	—	—
0,0245	82,0	3345	13,5	3000
0,030	96,0	3170	79,0	2630
0,034	107,0	3140	85,0	2600
0,042	122,0	2900	97,0	2310
0,050	135,0	2700	106,0	2120

§ 16. Maxwell⁴⁾ hat die elektrische Festigkeit eines Dielektricums definiert als „den Wert der elektrischen Intensität, welche in einem Dielektricum bestehen kann, ohne dass Funkenentladung stattfindet“. Eine Betrachtung der hier be-

1) E. Warburg, Wied. Ann. 54. p. 306. 1895.

2) J. B. Baille, Ann. de Chim. et de Phys. (5) 25. p. 531. 1882.

3) E. Paschen, Wied. Ann. 37. p. 79. 1889.

4) J. C. Maxwell, Treatise on Electricity and Magnetism 1. § 51. 1873.

stimmten Werte des Funkenpotentiales zeigt, dass die so definirte elektrische Festigkeit keineswegs eine Constante für die untersuchten festen oder flüssigen Dielektrica ist.

Bei allen mit Kugeln von 2 cm Durchmesser gemachten Beobachtungen ist der Abstand der Elektroden in allen Fällen so klein im Verhältniss zur Grösse der Elektroden dass der Quotient $\frac{\text{Potential}}{\text{Funkenlänge}}$ der elektrischen Intensität nahezu gleich ist. Doch wächst dieser Quotient bei den verschiedenen untersuchten festen und tropfbarflüssigen Körpern mehr oder weniger mit abnehmender Schlagweite.

Für die mit Xylol gemachten Versuche habe ich auch die grössten Werte der elektrischen Intensität (Feldstärke) zwischen den Kugeln nach den von Schuster¹⁾ gegebenen Formeln berechnet, welche auf die Kirchhoff'sche Lösung des Problems der Verteilung der Elektrizität auf zwei Kugeln sich gründen.

Für die Berechnung auf meine Dissertation verweisend, gebe ich hier die Resultate:

Tabelle XVI.

Xylol.

Schlag- weite in cm	Funkenpotential		Elektrische Intensität	
	mit Elektroden von Radius 1 cm in C.G.S.-Einh.	mit Elektroden deren Radius = 0,1 cm in C.G.S.-Einh.	mit Elektroden, deren Radius = 1 cm in C.G.S.-Einh.	mit Elektroden, deren Radius = 0,1 cm in C.G.S.-Einh.
0,024	72,0	80,5	3020	3610
0,032	83,2	103,0	2626	3470
0,044	97,0	126,0	2230	3340
0,050	106,0	135,0	2075	3240
0,0635	125,0	—	2020	—
0,067	131,5	—	2005	—

Die an anderen Flüssigkeiten gemachten Berechnungen ergeben ähnliche Resultate; in allen Fällen nimmt die elektrische Festigkeit mit wachsender Schlagweite ab, was seinen Ausdruck in der empirischen Formel $V = \alpha d + \beta$ findet. Diese Aenderungen der elektrischen Festigkeit oder besser der grössten elektrischen Intensität sind in Fig. 4 graphisch dargestellt.

1) A. Schuster, Phil. Mag. (5) 29. p. 182. 1890.

§ 17. In der Tab. XVII stelle ich die für α und β gefundenen Werte zusammen; Tab. XVIII enthält für die verschiedenen untersuchten Substanzen die elektrische Festigkeit

Fig. 4.

für die gegebenen Dicken und das Funkenpotential für dieselbe Dicke, zusammen mit dem geschätzten Funkenpotential für eine Dicke von 0,1 cm.

Tabelle XVII.
Constante.

Substanz	α	β
Glas I („709“)	420	41,50
Glimmer	18800	10,0
Paraffin (nach Monti)	3560	17,2
Terpentinöl	1410	20,0
Petroleum	1920	20,16
Xylol	1340	40,0
Benzol	1750	21,1

Tabelle XVIII.
Zusammenstellung.

Substanz	Schlag- weite in cm	Entladungs- potential in C.G.S.-Einh.	Elektrische Festigkeit (C.G.S.)	Funkenpot. für Schlagweite von 0,1 cm in C.G.S.-Einh.
Glas I	0,041	58,6	1440	83,5
	0,220	133,0	645	
Glas IV	0,149	118,0	800	—
Glas V	0,076	127,0	1710	—
Glas VI	0,041	110,0	2710	—
Glas XI	0,041	138,0	3410	—
Glimmer	0,0032	70,3	22000	1890
	0,006	124,0	20600	
Quarz: Schnitt				
⊥ zur opt. Axe	0,02	77,5	3870	—
„ „ „	0,02	101,0	5050	—
Paraffin	0,0156	72,7	4660	375
	0,0359	145,0	4030	
Ebonit	0,015	> 140	> 9000	—
Terpentinöl	0,0184	46,0	2520	161
	0,066	112,0	1730	
Petroleum	0,026	72,0	2800	212
	0,052	121,0	2370	
Xylol	0,024	72,0	3020	174
	0,0675	131,5	2005	
Benzol	0,045	98,5	2225	194(?)
	0,054	114,8	2170	

Ich möchte zum Schluss Hrn. Prof. Dr. E. Warburg für seine Anregung zu der vorliegenden Arbeit und vielfache Unterstützung bei der Durchführung meinen wärmsten Dank ausdrücken.

(Eingegangen 5. Februar 1900.)