

VIII. Ueber Interferenz oscillatorischer electrischer Entladungen; von Dr. A. J. von Oettingen.

(Hierzu Taf. V Fig. 1–9.)

Schon seit 27 Jahren kennt man den oscillatorischen Charakter der Batterieentladung, und niemand zweifelt daran, dass auch zwei solcher oscillatorischer Entladungen in ein und demselben Drahte sich superponiren müssten. Ich glaube aber nicht, dass bisher solche Interferenzerscheinung experimentell dargestellt wäre. Versucht man nämlich nach dem Schema der Fig. 1 zwei Batterien *A* und *B* auf gleich hohes Potential zu laden, damit sie gleichzeitig durch I und II sich entluden und im vereinten Bogen in III miteinander interferirten, so liegen zwei Schwierigkeiten vor, nämlich 1. dafür zu sorgen, dass *A* und *B* stets gleich hohe Potentiale haben, ohne miteinander leitend verbunden zu sein, und 2., zu erwirken, dass gleichzeitig die Entladungen in I und II beginnen. Erstere Bedingung wäre leicht zu realisiren, indem man *A* und *B*, wie die Figur zeigt, durch einen langen schlechten Leiter verbindet, aus dessen Mitte in *C* die Electricität zuströmt.¹⁾ Aber vergeblich wird man alsdann das gleichzeitige Eintreten von Entladungen in I und II erwarten. Es kommt stets eine, etwa in I, zuerst zu Stande, und wenn auch in II ein Funke auftritt, so ist derselbe gegen I ganz gewiss verspätet, um einen Bruchtheil der halben Oscillationsdauer von *A*, worüber ich später berichten werde.

Man erreicht auf einmal beide obenerwähnte Bedingungen mittels einer Schliessung, wie sie bereits von Werner Siemens²⁾ zu ganz anderem Zwecke verwerthet wurde, da er die Verspätung des Funkens II gegen I zu messen wünschte, wenn durch Einschaltung eines Telegraphendrahtes der Beginn von II verzögert wurde. Die Funken I und II traten bei Siemens auf einer Walze auf, die in Rotation versetzt werden konnte (s. Fig. 2). Die Batterien wurden von *C* aus geladen, während die Innenbelegungen abgeleitet waren. Kurz

1) Aehnlich wie ich solches früher verwerthet habe in dem sogenannten Brückenfunkenexperimente (Pogg. Ann. Jubelbd. p. 269.) 1874.

2) W. Siemens, Pogg. Ann. 157. p 309. 1876.

vor dem Versuche wurde die Erdverbindung getrennt und die Verbindung wie in Fig. 2 hergestellt. „Dann“, heisst es wörtlich, „wurde die Entladung dadurch bewirkt, dass ein mit der Erde leitend verbundenes Messer D mittels eines kräftigen Hammerschlages durch den isolirenden Draht d getrieben und dadurch eine kurze, aber möglichst widerstandslose Ableitung der verbundenen Belegungen zur Erde herbeigeführt wurde“.¹⁾

Gerade der in CD auftretende Funke bietet aber grosses Interesse dar. Während Siemens seine ganze Aufmerksamkeit ausschliesslich dem zeitlichen Unterschiede von I und II zuwandte, habe ich im Nachstehenden im Funken CD schöne Interferenzerscheinungen beobachtet, auch ist es mir gelungen, dieselben photographisch abzubilden.

Das Princip meiner Versuche erkennt man aus der schematischen Figur 3. Die Flaschen oder Batterieen A und B werden von C aus durch den metallischen Arm F eines v. Liphart'schen Ausladers gleichzeitig geladen, haben daher stets gleiches Potential. Während des Ladens sind die äusseren Belegungen durch einen Doppelfallarm bei s und s_1 mit der Erde verbunden. Nun werden A und B gleichzeitig entladen, indem man F gegen K sinken lässt, wodurch zugleich 1) der Conductor der Electrisirmaschine abgehoben ist und 2) s und s_1 von der Erde abgetrennt worden sind. (Die mechanische Einrichtung für letzteres ist in der Figur fortgelassen.) Die Electricitäten auf den äusseren Belegungen können nur durch die beliebig zu verändernden Widerstände R_a und R_b und durch die Funken I und II zur Erde abfliessen. Selbstverständlich müssen A und B gut isolirt aufgestellt sein. In III tritt nun der Interferenzfunke auf. Hier wird die Electricität der Innenbelegung ohne Widerstand (ausser den Funken IV und III) zur Erde abgeführt. Man wird die Siemens'sche Vorrichtung wiedererkennen, wenn man sich III und IV metallisch geschlossen denkt. — III und IV haben ganz gleichen oscillatorischen oder richtiger Interferenzcharakter. In V tritt im allgemeinen kein Funke auf, weil der Spiegelzeiger irgendwo sich befindet,

1) W. Siemens, l. c. p. 313.

wenn der Fallarm die Strecke V metallisch schliesst. Ein rasches Schliessen der ganzen Verbindung mit der Erde ändert nicht wesentlich die Entladung, denn das Abströmen in der beliebig kurzen Leitung von A und B über IV und III geschieht doch nur in demselben Rhythmus, wie ein solcher in den von R_a und R_b bedingten Oscillationen der anderen Belegungen gegeben ist, denn äussere und innere Belegung haben stets denselben Rhythmus.

Die beiden Oscillationsdauern sind bedingt eine jede durch die Capacität jeder Batterie und durch das Selbstpotential beider Gesamtleitungen vom äusseren Beleg über die Erde bis zum inneren Beleg. Da R_a und R_b spiralförmig gewickelte Drähte von mindestens 100 Metern Länge waren, so kann man diese als allein massgebend betrachten. Jede auf der äusseren Belegung statthabende Potentialänderung erzeugt eine entsprechende auf der inneren Belegung. — Die Versuche gelingen übrigens auch dann, wenn man, in der Art wie Figur 4, den Funken III auf I und II folgen lässt. A entladet sich durch I und III, B durch II und III. In III tritt eine völlig reine Interferenz auf, nur muss wieder ähnlich wie früher, durch Senken des Fallarmes F die Entladung herbeigeführt werden. Um die Interferenzfunken richtig zu verstehen, überlege man, dass die in I und II getrennt vorhandenen Ströme in III bald gleichgerichtet sind und sich verstärken, bald entgegengerichtet und sich schwächen oder vernichten entsprechend der folgenden Formel für die Summe der beiden Stromstärken:

$$i = a \cdot e^{-ht} \sin 2\pi \frac{t}{\tau} + a \cdot e^{-h't} \sin 2\pi \frac{t}{\tau'},$$

wo: $\tau = \frac{\pi \sqrt{C \cdot \bar{W}}}{c}$ und $\tau' = \frac{\pi \sqrt{C' \cdot \bar{W}'}}{c}$,

und C , C' die beiden Capacitäten, W und W' die Selbstpotentiale von R_a und R_b bedeuten.¹⁾ Die Grösse e^{-ht} und $e^{-h't}$ war sehr nahe gleich Eins. — R_a und R_b waren Kupferdrahtspiralen von 1,75 mm Dicke, auf Holz unifilar gewickelt in einer einzigen Schicht. — Sehr nahe durfte W proportional

1) Vorstehende Gleichungen sind dem Interferenzschema der Figuren angepasst. Allgemeiner wären die Amplituden verschieden anzusetzen.

den Widerständen w angenommen werden, da keine absoluten Messungen bezweckt wurden. In Uebereinstimmung mit der wurden die Oscillationsdauern bei gleichem C proportional Theorie \sqrt{W} gefunden, wie Kirchhoff's Berechnung der Feddersen'schen Versuche schon bewiesen hatte.¹⁾ Aus den zahlreich gefertigten Photographien sollen hier nur vier typische Fälle mitgetheilt werden.

Capacitäten von		Drahtspiralen- länge von		Oscillationsdauer Milliontelsecunde		Verhältniss der Oscil- lationsdauer	Fig.
A	B	A	B	τ	τ'		
		in Metern					
37,1	37,0	426	416	39,0	39,0	1 : 1	6
18,5	19,7	226	464	21,1	31,5	2 : 3	7
"	"	226	344	19,2	24,0	4 : 5	8
"	"	123	344	14,0	24,5	4 : 7	9

Die zur Interferenz gebrachten Verhältnisse der Oscillationsdauern in ganzen Zahlen wurden erhalten durch Widerstände, die nahe proportional den Quadraten der gewünschten Oscillationsdauern waren. Ferner sei noch erwähnt, dass ebenso gelungene Versuche mit den Verhältnissen 5:7, 5:8, 9:16 und anderen angestellt waren, die wir zurückhalten können, weil sie ebendasselbe lehren, wie die hier mitgetheilten Abbildungen.²⁾

Auf Fig. 5 findet man die drei Funkenstrecken abgebildet. Die Electroden sind Stäbe aus Zinn. Feddersen fand schon, dass dieses Metall am präzisesten erglühe und wieder verlösche. Mit keinem anderen Metalle kann man so reine Bilder erhalten.

Fig. 6—9 bringt die Entladungsfunken. Zu jedem Versuche gehören je drei Entladungsbilder, entsprechend den beiden einfachen Entladungen in I und II und dem Interferenzfunken in III, welch letzterer aus den variablen Stromstärken I und II erschlossen werden kann.³⁾

1) Pogg. Ann. 121. p. 551. 1864.

2) Die Originalplatten wurden sämmtlich in der physikalischen Gesellschaft zu Berlin am 20. Jan. 1888 vorgezeigt.

3) Es wurde der rotirende Planspiegel mit der photographischen Camera combinirt, wie solches ich in einer anderen Arbeit beschrieben habe (Wied. Ann. 33. p. 586. 1888), und zwar Nr. 6, 8 und 9 mit Steinheil-
aplanat Nr. 4, und Fig. 7 mit Dallmeyer B,1.

In jeder der vier Figuren wurde ein Wellenschema entworfen, Fig. 6_a — 9_a. Streng genommen, müssten im Schema die Decremente der Amplituden $e^{-h\tau}$ und $e^{-h\tau'}$ Berücksichtigung finden. Indess gehörte dazu eine genaue Kenntniss dieser Factoren. Hierauf durfte verzichtet werden, wenn es nur galt, den Typus der Erscheinung zu kennzeichnen.

Dem Wellenberge im Schema entspricht eine positive Bewegung von 0 anhebend, ein Maximum erreichend und bis 0 abnehmend. Analog entspricht dem schematischen Wellenthal eine negative Strömung. Im Momente, wo der Wellenberg zu Ende, und $i = 0$ geworden, hat die Batterie ein negatives Potentialmaximum, am Ende des Wellenthales ist das Batteriepotential wieder positiv. Man beachte noch, dass schwache Ströme nur am positiven Pol deutlich auftreten, und bei stärkeren Strömen ist zwar das Leuchten am negativen Pole merklich, aber weit schwächer als am positiven, sodass das Alterniren der Stromrichtung deutlich hervortritt.

In Fig. 6 schwingt die Electricität unisono, daher der Interferenzfunke III das Bild der Theilfunken nur verstärkt wiedergibt.

In Fig. 7 ist das Verhältniss $\tau : \tau' = 2 : 3$ gegeben. Das Schema lehrt, dass der Interferenzfunke eine starke positive Oscillation, dann eine starke negative, dann eine schwache positive, dann eine schwache negative. Dann folgen stets vier starke, dann zwei schwache Halbosscillationen. Unter den vier starken sind die beiden mittleren viel kräftiger (s. Schema 7_a). Diese Variationen lassen sich bis zum sechsten Interferenzmaximum verfolgen, entsprechend zwölf ganzen Oscillationen in I und 18 in II. Diese sechs Maxima sind analog dem Combinationsdifferenztone bei Schallwellen.

In Fig. 8 ist $\tau : \tau' = 4 : 5$. Auf acht Halbosscillationen in I kommen zehn in II. Das Schema 8_a gibt folgenden Charakter des Interferenzstromes:

2 starke Halbosscillationen		4 starke Halbosscillationen	
2 mässige " "		2 mässige " "	
2 schwache " "		2 schwache " "	
(kaum sichtbar)		2 mässige " "	
2 mässige Halbosscillationen		4 starke " "	u. s. f.

Stets beginnt III mit einem Maximum, weil beide Entladungen zugleich beginnen. An das vollendete Schema reiht sich dasselbe von vorn wieder an, daher im Interferenzbilde stets am Anfange nur ein halbes Maximumphänomen auftritt. Die Photographie 8 III ist ein getreues Abbild des Schemas 8_a.

Fig. 9 bringt $\tau:\tau' = 4:7$, also acht Halbosscillationen auf 14. Das Schema 9_a ist interessant, sofern dem positiven Strome zwei negative nacheinander folgen. Das zwischen *b* und *c* liegende relative Maximum entspricht nicht einer positiven Strömung, sondern einem Herabsinken der negativen auf 0. Wir haben folgende Uebersicht:

	1 starke positive Halboscill.		1 starke positive Halboscill.
	1 mässige negative „ „		1 starke negative „ „
noch	1 mässige negative „ „		1 mässige positive „ „
	1 starke positive „ „	noch	1 mässige positive „ „
	1 starke negative „ „		1 starke negative „ „
	2 fast gänzl. fehlende „ „		u. s. f. wieder von vorne.

also wechseln zehn Halbosscillationen mit zwei fast gänzlich vernichteten. Ich versuche, zum besseren Verständniss noch das Schema 9_b hinzuzufügen. Eine Periode reicht von *a* bis *m*, und von *n* weiter, — oder von *g* bis *s*. Von einer bestimmten Combinationswelle kann insofern nicht geredet werden, als die Interferenzmaxima gar nicht äquidistant sind (s. Fig. 9_a).

Interessant wäre es, eine Interferenz mit Phasendifferenz am Anfange darzustellen. Solches lässt sich experimentell erzwingen und mit dem rotirenden Spiegel controliren. Für gewisse feine chronoskopische Messungen, für Schlierenapparatversuche u. a. dürften solche Versuche von Werth sein. Ich hoffe, darauf zurückzukommen.

Dorpat, März 1888.

