6. *Ueber electrische Oberschwingungen;*
von M. Lamotte.

Es wurde schon von mehreren Forschern auf die Oberschwingungen, die in Blondlot'schen und Lecher'schen Drahtsystemen neben der Grundschwingung stattfinden, hingewiesen. Soweit es zu meiner Kenntniss gelangt ist, wurde aber keine systematische Untersuchung derselben ausgeführt, wobei man die experimentellen Ergebnisse mit den theoretischen verglichen hätte. Die schon im Jahre 1857 von Kirchhoff entwickelte Theorie gestattet nun die Perioden der Grundschwingung und diejenige der Oberschwingungen zu berechnen, und die aus jener Theorie abgeleitete Formel ist schon öfters bezüglich der Grundschwingung bestätigt worden.

Auf die Anregung von Hrn. Prof. Drude in Leipzig habe ich die experimentelle Prüfung der Kirchhoff'schen Formel für die Oberschwingungen beim Lecher'schen Systeme unternommen, und ich erlaube mir im Folgenden einige Resultate mitzutheilen. Zunächst ist es für mich eine angenehme Pflicht, Hrn. Geheimrath Wiedemann und Hrn. Prof. Drude für ihren freundlichen Empfang und ihren werthvollen Rath meinen besten Dank zu sagen.

Frühere Beobachtungen.

Cohn und Heerwagen[1]) untersuchten die in Lecher'schen Systemen verlaufenden Schwingungen und zwar in folgender Weise. Die Paralleldrähte enden in die Platten eines Condensators (Endcondensators) und eine Brücke wird längs jener Drähte verschoben. Eine Geissler'sche Röhre ist an einer Stelle zwischen der Brücke und dem Endcondensator zwischen den Drähten eingeschaltet, eine Röhre, die im allgemeinen dunkel bleibt, wenn man das den Apparat erregende Inductorium in Thätigkeit setzt. Sie leuchtet nur bei be-

---

1) Cohn u. Heerwagen, Wied. Ann. **43**. p. 343. 1891.

stimmten Lagen der Brücke, nämlich wenn die Brücke auf einem Schwingungsknoten der electrischen Kraft liegt und zwar leuchtet sie am hellsten, wenn sie selbst auf einem Schwingungsbauche der electrischen Kraft liegt.

Cohn und Heerwagen bestimmten allerdings bei jenem Verfahren die Lagen der Brücke, bei denen beide Theile des Systems, nämlich der vor der Brücke und der hinter der Brücke liegende Theil in Resonanz stehen, d. h. bei denen die Periode der Grund- bez. einer Oberschwingung des ersten gleich der Periode der Grund- bez. einer Oberschwingung des letzteren ist.

Sie ermittelten Obertöne, in einem Falle bis zum sechsten, deren Reihe keine harmonische war. Die Theorie dieser möglichen Resonanzlagen der Brücke complicirt sich hier dadurch, dass bei jeder Verschiebung der Brücke sich sämmtliche Eigenschwingungen des erregenden Systemes, das aus den Anfangscondensatoren und den Paralleldrähten bis zur Brücke besteht, ändern. — Diese Complication tritt bei allen Versuchsanordnungen ein, in denen die erste Brücke nicht fest liegen bleibt.

Bei den Versuchen von E. Wiedemann und Ebert[1]) lag die Entladungsröhre zwischen den Platten des Endcondensators und eine Brücke wird auf den Drähten verschoben, bis die Röhre anspricht. Die Verfasser fanden auch mehrere Knotensysteme, auf deren Verlauf sie nicht eingingen, da sie eine andere Untersuchung bezweckten, nämlich zu untersuchen, unter welchen Umständen verdünnte Gase aufleuchten. Sie bewiesen, was für unseren Zweck sehr wichtig ist, dass die Lage der Knoten von der Gestalt, von den Dimensionen der Röhren und vom Drucke in ihnen nicht abhängt. — Auf die Versuche von Mazzotto werde ich unten eingehen.

Drude hat im Laufe seiner zahlreichen Versuche über die Drahtwellen mehrmals Obertöne beobachtet und darauf hingewiesen. Er hat jüngst seine Ansichten darüber entwickelt[2]) und einige experimentelle Resultate mitgetheilt. Bei seinen Versuchen liegt die erste Brücke auf den Drähten fest (zur Vermeidung der vorhin erwähnten Complicationen), während

1) E. Wiedemann u. Ebert, Wied. Ann. **48.** p. 549 ff. 1893.

2) Drude, Arch. de Genève (4) **3.** p. 464. 1897.

eine andere hintere längs der Drähte verschoben wird, bis eine Zehnder'sche Röhre, welche man in der Mitte zwischen den Brücken hält, am hellsten aufleuchtet. Er fand die berechneten Perioden der Grundschwingungen mit den beobachteten in Einklang. Jene Prüfung habe ich bis zu den Oberschwingungen erweitert, wie ich jetzt darlegen werde.

Versuche mit Lecher'scher Anordnung.

Der von mir benutzte Apparat war in der gewöhnlichen Weise angeordnet. Zwei kreisförmige Condensatorplatten (primäre Platten) stehen in derselben Verticalebene. An ihrer Hinterfläche sind zwei kleine Messingröhren parallel zu deren Ebene angelöthet, in denen zwei Messingstangen gleiten können, welche am Ende Kugeln tragen. Die Stangen sind am einen Ende etwas nach unten gebogen, damit man die Kugeln in eine mit Petroleum erfüllte Schale eintauchen kann. Die Funken eines Inductoriums springen zwischen den Kugeln im Petroleum über. Es ist zum regelmässigen Gang des Apparates vortheilhaft, die Zuleitungsdrähte möglichst nahe bei den Kugeln der Funkenstrecke zu befestigen[1]) und andererseits einen jener Drähte von den Kugeln loszumachen, damit ein anderer Funken zwischen beiden entsteht[2]), welcher übrigens kürzer als der Hauptfunken sein muss.

Den primären Condensatorplatten stehen zwei secundäre gegenüber. Von ihnen gehen zwei zu einander parallele Drähte von etwa 10 m Länge aus. Ich musste aus Mangel an Raum jene Drähte in 6 m Distanz vom Condensator knicken, was allerdings keine Störung brachte, wie ich besonders prüfte; ob die Drähte an ihren Enden frei oder miteinander verbunden sind, ist gleichgültig. Auf die Drähte wurde eine Brücke in der Nähe der secundären Platten gelegt und eine zweite längs der Drähte

---

1) Weil hier eine Nullstelle der Potentialschwankung liegt und man daher hier beliebige Capacitäten anlegen kann, ohne die Schwingungen zu stören. Es geht um so weniger Energie derselben auf die Zuleitungsdrähte zum Inductorium über, je kleiner die relative Distanz der Anlagestellen ist; vgl. hierzu Drude, Wied. Ann. **61.** p. 633. 1897.

2) Auf den Vortheil dieser „Zuführungsfunkenstrecke" hat Drude in den Abhandl. d. k. sächs. Gesellsch. d. Wissensch., math.-physik. Klasse **23.** p. 7. 1896 aufmerksam gemacht.

verschoben, bis die Zehnder'sche Röhre, welche man ungefähr in der Mitte zwischen beiden Brücken hielt, ein Maximum der Helligkeit darbot.

Wenn man dann die Röhre von einer Brücke bis zur anderen verschiebt, so können zwei verschiedene Fälle eintreten.

Entweder leuchtet die Röhre nur am hellsten in der Mitte zwischen beiden Brücken und ihre Helligkeit nimmt beim Verschieben der Röhre von der Mitte nach einer der Brücken fortdauernd ab. Oder die Helligkeit der Röhre hat an einer oder mehreren Stellen (Knoten) in gewissen Abständen von der Brücke Minima, bez. das Leuchten hört dort auf.

Im ersten Falle beträgt die Distanz beider Brücken nahezu[1]) eine halbe Wellenlänge einer Schwingung, welche im erregenden (vor der festen Brücke liegenden) Drahtsystem vorhanden ist, in letzterem Falle dagegen mehrere halbe Wellenlängen. Letztere können eventuell von der im ersten Fall ermittelten Wellenlänge verschieden sein; man würde dann auf zwei verschiedene, im erregenden Drahtsysteme vorhandene Schwingungen schliessen.

Der einfachste Weg, sämmtliche vorhandenen Schwingungen zu ermitteln, ist daher, dass man die bewegliche Brücke allmählich von der festen Brücke an nach hinten auf den Paralleldrähten verschiebt, wobei die Röhre immer in der Mitte zwischen beiden Brücken sich befindet; die Röhre wird also mit halber Geschwindigkeit, wie die zweite Brücke, nach hinten geschoben. Jedes Aufleuchten der Zehnder'schen Röhre lässt auf eine im Erreger vorhandene Schwingung schliessen.

Die langsamste wird die Grundschwingung genannt, die schnelleren die Oberschwingungen. Erstere ist meist wesentlich intensiver als letztere, um so mehr, je näher die feste Brücke nach den Erregercondensatoren zu liegt. Erst bei grösserem Abstand der festen Brücke von den Condensatoren kann man überhaupt Oberschwingungen nachweisen und zwar treten um so mehr zu Tage, je grösser jener Abstand wird.

---

1) Eine kleine Correction tritt wegen der Länge der Brücken selber ein.

Nach der Kirchhoff'schen Theorie[1]) berechnen sich die im Erregersystem vorhandenen Wellenlängen λ nach der Formel

$$(1) \qquad \frac{\pi l}{\frac{\lambda}{2}} \operatorname{tg} \frac{\pi l}{\frac{\lambda}{2}} = \frac{l}{4\, C \log \frac{d}{R}}.$$

Hierin bezeichnet d den Abstand, R den Radius der Paralleldrähte, l die Distanz der festen Brücke von den Condensatoren. C bedeutet die Capacität derselben nach electrostatischem Maasse gemessen und zwar ist C gleich der halben Capacität jedes einzelnen Condensators, da beide durch den Entladungsdraht und die Funkenstrecke hintereinander geschaltet sind.

Setzt man

$$(2) \qquad \frac{\pi l}{\frac{\lambda}{2}} = Z,$$

so wird die Gleichung (1)

$$(3) \qquad Z \operatorname{tg} Z = \frac{l}{4\, C \log d/R} = a.$$

Die Auflösung dieser transcendenten Gleichung kann, wie es Kirchhoff gemacht hat, in graphischer Weise erhalten werden, indem man über der Z-Axe als Abscissenaxe zwei Curven construirt, deren Ordinaten bez. sind:

$$Y_1 = \operatorname{tg} Z, \qquad Y_2 = a : Z.$$

Die Schnittpunkte beider Curven liefern gewisse Abscissenwerthe Z, welche die Wurzeln der Gleichung (3) sind.

Wenn die Capacität C gross im Vergleich zu dem Abstand l der festen Brücke von den Condensatoren ist, so ist die kleinste Wurzel Z, der die grösste Wellenlänge λ, d. h. die Grundschwingung entspricht, so klein, dass man $\operatorname{tg} Z = Z$ setzen kann. Die Gleichung (3) ergiebt dann

$$Z = \frac{\sqrt{l}}{2\sqrt{C \log d/R}},$$

d. h. mit Benutzung von (2)

$$(4) \qquad \lambda = 4\pi \sqrt{C \,.\, l \,.\, \log d/R}.$$

1) G. Kirchhoff, Ges. Abhandl. p. 131 ff. Dargestellt auch bei Drude, Physik des Aethers, p. 374 ff.

Dies ist identisch mit der bekannten, zuerst von W. Thomson abgeleiteten Formel:

$$T = \frac{2\pi}{c}\sqrt{C \, . \, L},$$

wobei T die Periode der Grundschwingung, c die Lichtgeschwindigkeit, L die Selbstinduction des Schliessungskreises ist.

Die anderen Wurzeln Z sind nahezu die Werthe

$$Z = h\pi,$$

d. h.

(5) $$\frac{\lambda}{2} = \frac{l}{h},$$

wobei h eine ganze Zahl 1, 2, 3 ... bedeutet. Die Oberschwingungen würden sich in diesem Falle gerade so berechnen, als ob das Erregersystem aus einem einzigen geschlossenen Drahtrechteck von der Länge l bestände. In diesem Falle bilden also die Schwingungszahlen der Oberschwingungen unter sich die harmonische Reihe 1 : 2 : 3 etc., sie haben aber ein beliebiges, d. h. unharmonisches Verhältniss zur Grundschwingung, welches von der Wahl der Capacität C abhängt.

Zur Prüfung der Theorie sind nun die Fälle interessanter, in denen die Capacität C so klein gewählt wird, dass nicht mehr die Näherungsformeln (4) und (5) Gültigkeit haben.

Ich wählte daher die Condensatoren als verhältnissmässig kleine Kreiscondensatoren (Radius ϱ) mit weitem Abstand a ihrer beiden Platten. Die Capacität C' eines Condensators lässt sich dann allerdings nur näherungsweise schätzen nach einer Clausius'schen[1]) Formel, oder einer nahe damit übereinstimmenden Kirchhoff'schen[2]) Formel

(6) $$C' = \frac{\varrho^2}{4a} + \frac{\varrho}{4\pi}\left(\log \text{nat} \frac{16\pi\varrho}{a} - 1\right) = 2C,$$

wobei ϱ den Radius der Kreisplatten eines Condensators, a ihren gegenseitigen Abstand bedeutet. Von C' ist nur der halbe Werth zu nehmen, um die ganze Capacität C des Erregers zu erhalten, da beide Condensatoren des Erregers in Serie geschaltet sind.

1) Clausius, Pogg. Ann. **86.** p. 161. 1852.

2) G. Kirchhoff, Vorlesungen über Electricität, herausgegeben von Planck, p. 109. 1891.

Da auch diese Formel bei den gewählten Verhältnissen ϱ/a nur roh angenäherte Werthe giebt, da ferner die Drahtleitung des Erregersystems nicht streng die der Theorie nach vorausgesetzte einfache Gestalt eines langen und sehr schmalen Rechteckes besitzen kann, da ferner gewisse Abweichungen in der Nähe der Condensatoren vorhanden sind, so erhält man eine bessere Prüfung der Theorie, wenn man den Werth des in der Gleichung (1) vorkommenden Factors $4\,C \log d/R$ aus einer beobachteten Wellenlänge λ bei einer bestimmten Brückendistanz l bestimmt. Ich habe dazu die Wellenlänge λ_g der Grundschwingung bei $l = 100$ cm benutzt. Man muss dann alle anderen vorkommenden λ auch bei anderer Brückendistanz l berechnen können und kann diese Werthe λ mit den Beobachtungen vergleichen.

Resultate.

Es sind drei verschiedene Erregercapacitäten benutzt. Es bedeutet

ϱ den Radius dieser Condensatorplatten,

a ihren gegenseitigen Abstand,

l den Abstand der festen Brücke vom Condensator, in Centimetern gemessen,

$\lambda_g/2$ die halbe Wellenlänge der Grundschwingung, in Centimetern gemessen,

$\lambda_1/2$, $\lambda_2/2$ etc. die halben Wellenlängen der Oberschwingungen.

Bei allen Versuchen betrug der Abstand d der Paralleldrähte 10 cm, der Radius derselben $R = 0{,}05$ cm.

Die Wellenlängen $\lambda/2$ sind dadurch bestimmt, dass zum betreffenden Abstand beider Brücken die halbe Länge jeder Brücke[1]), oder, da beide Brücken von gleicher Länge waren, die Länge einer Brücke, d. h. 10 cm, hinzugefügt wurde.

Die eingeklammerten Zahlen sind aus der Theorie in der oben besprochenen Weise berechnet. Bei $\lambda_g/2$ ist eine mit * versehene Zahl beigefügt, welche mit Benutzung der Formel (6) aus der Theorie, d. h. der Formel (1) berechnet ist. Diesem

---

1) Theoretisch und experimentell ist dies nahezu der Werth der sogenannten Brückenverkürzung; vgl. Drude, Wied. Ann. **60**. p. 11 u. 14. 1897.

Werthe ist allerdings kein grosses Gewicht beizulegen, besonders wegen Ungenauigkeit der Formel (6). Im Kopfe der Tabellen bedeutet C die aus Formel (1) und beobachtetem λ_g berechnete Capacität, während die eingeklammerte Zahl die aus Formel (6) geschätzte Capacität bezeichnet.

l	$\frac{\lambda_g}{2}$	$\frac{\lambda_1}{2}$	$\frac{\lambda_2}{2}$	$\frac{\lambda_3}{2}$	$\frac{\lambda_g}{\lambda_1}$	$\frac{\lambda_g}{\lambda_2}$	$\frac{\lambda_g}{\lambda_3}$
	$\varrho = 5$ cm.	$a = 2$ cm.	$C = 3,24$ (2,33) cm.				
100	321 (295)*	102 (90)			3,14 (3,44)		
150	427 (436)	138 (129)	77 (72)		3,33 (3,37)	5,55 (6,00)	
200	520 (532)	172 (165)	98 (106)	66 ? (64)	3,02 (3,22)	5,30 (5,41)	7,87 ? (8,25)
250	616 (625)	195 (202)	121 (116)	(65)?	3,15 (3,13)	5,09 (5,30)	
	$\varrho = 5$ cm.	$a = 4$ cm.	$C = 1,83$ (1,41) cm.				
100	273 (256)*	95 (86)			2,87 (3,16)		
150	396 (368)	128 (119)			3,10 (3,09)		
200	484 (476)	163 (153)	97 (90)		2,97 (3,12)	5,00 5,26	
250	576 (569)	193 (184)	119 (112)	84 ? (73)?	2,98 (3,08)	4,85 5,07	6,85 7,35
	$\varrho = 2,5$ cm.	$a = 2$ cm.	$C = 2,13$ (0,70) cm.				
100	283 (230)*	96 (82)			2,94 (3,38)		
150	386 (368)	127 (121)			3,04 (3,03)		
200	474 (483)	161 (153)	99 (91)		2,94 (3,15)	4,75 (5,03)	

Ich habe nicht die Absicht, jene Resultate eingehend zu discutiren und ein zu grosses Gewicht auf den absoluten Werth der angegebenen Zahlen zu legen. Wie man sehr leicht ersehen kann, ist eine strenge Genauigkeit, besonders bei Berechnung und Ermittelung der Verhältnisse λ_g/λ_1, λ_g/λ_2 . . .

nicht zu erwarten, da eine kleine Aenderung von λ_g, bez. von λ_1 ... schon eine beträchtliche Aenderung der Verhältnisse mitbringt. Trotzdem scheinen mir jene Versuche die Kirchhoff'sche Theorie zu bestätigen, indem man nach der Erfahrung und der Theorie übereinstimmend findet:

1. Die Reihe der Oberschwingungen ist im allgemeinen keineswegs harmonisch.

2. Die Intervalle streben nach denjenigen der harmonischen Reihe, *welche nur ungerade Glieder* enthält, wenn die Capacität klein in Bezug auf die Länge l des Erregersystems wird. In der That ergiebt ja auch die Formel (1) für sehr kleine Werthe C, dass die Schwingungszahlen sich verhalten müssen wie 1 : 3 : 5 etc. Zugleich ergeben sowohl die Formel (1) als auch die mitgetheilten Tabellen, dass bei kleinem C/l die Wellenlängen nur wenig von C abhängen. Zur Bestimmung von Capacitäten aus Wellenlängen muss man also praktisch das Verhältniss C/l möglichst gross wählen.

Vorläufig will ich mich auf diese Schlüsse beschränken, wenn ich auch einige andere Thatsachen beobachtete, auf deren Untersuchung ich später einzugehen gedenke.

Versuche mit Blondlot'schen Apparaten.

Ich habe zwei Blondlot'sche Apparate benutzt, deren grösserer nach der Originalangabe von Blondlot, der kleinere nach der Drude'schen Construction angeordnet war.

Die Bestimmung der Wellenlängen findet wie oben statt. l bedeutet, wie oben, die Entfernung der festen Brücke von der Erregerfunkenstrecke.

I. Ohne Condensator am Erreger.

l	$\frac{\lambda_g}{2}$	$\frac{\lambda_1}{2}$	$\frac{\lambda_2}{2}$	$\frac{\lambda_g}{\lambda_1}$	$\frac{\lambda_g}{\lambda_2}$
50	234	146		1,60	
100	271	161		1,66	
150	313	181		1,73	
200	348	201	140	1,73	2,48
250	373	216	154	1,72	2 35
300	407	238	173	1,71	

Mit Condensator am Erreger.

l	$\frac{\lambda_g}{2}$	$\frac{\lambda_1}{2}$	$\frac{\lambda_2}{2}$	$\frac{\lambda_g}{\lambda_1}$	$\frac{\lambda_g}{\lambda_2}$
100	341	186		1,82	
150	370	215		1,72	
200	386	238		1,62	
250	399	268	171	1,58	2,32
300	433	286	192	1,50	2,25

In dem ersten Falle nimmt das Verhältniss λ_g/λ_1 zunächst zu, wenn der Abstand a wächst, und scheint ein Maximum zu erreichen. Leider konnte ich aus Mangel an Raum den Abstand l nicht weiter als 300 cm führen. Dass ein Maximum wirklich vorhanden ist, wird sehr wahrscheinlich, wenn man die mit dem Condensator erhaltenen Resultate betrachtet; hier war die Oberschwingung nicht wahrnehmbar, wenn der Abstand l unter 100 cm lag; das Verhältniss λ_g/λ_1 aber nimmt schon bei wachsendem l ab.

Mit dem kleineren Apparate war es möglich, den Abstand l innerhalb einer viel grösseren Strecke in Bezug auf die Dimensionen des Erregers zu variiren. Ein Minimum ist ganz deutlich vorhanden.

II. Radius der Erregerkreise 2,5 cm.
Abstand der Drähte 2 cm. Ohne Condensator.

l	$\frac{\lambda_g}{2}$	$\frac{\lambda_1}{2}$	$\frac{\lambda_2}{2}$	$\frac{\lambda_3}{2}$	$\frac{\lambda_4}{2}$	$\frac{\lambda_g}{\lambda_1}$	$\frac{\lambda_g}{\lambda_2}$	$\frac{\lambda_g}{\lambda_3}$	$\frac{\lambda_g}{\lambda_4}$
3,5	38,9	21,9				1,78			
6,8	42,5	25,3				1,64			
12,5	48,2	28,7				1,68			
14,5	51,6	31,8				1,62			
24,5	58,4	33,1	29,0			1,66	2,78		
34,5	67,2	38,4	26,7			1,75	2,55		
44,5	78,3	42,7	30,3			1,83	2,58		
54,5	90,8	46,1	33,5	26,3	21,3	1,97	2,71	3,45	4,26
64,5	97,7	49,2	36,5	28,8	21,9	1,97	2,67	3,38	4.4

Es wird sehr schwierig sein, eine Theorie für die Blondlot'sche Anordnung zu geben. Meine Versuche bestätigen nicht, dass die Oberschwingungen zur Grundschwingung harmonisch sind, wie Drude als vorläufiges Resultat mitgetheilt hatte. — Sie ergeben auch wesentlich abweichende Resultate von denen Mazzotto's. Aus seinen Beobachtungen schliesst Mazzotto[1]), dass zwei Schwingungen in einem Lecher'schen Drahtsysteme verlaufen, welche miteinander nicht in einfachem Verhältnisse stehen. Die Wellenlänge der einen lasse sich aus der Cohn'schen Formel ableiten, während es für die andere noch übrig bleibe, eine theoretische Formel zu erfinden. Er schreibt die letztere dem zwischen der Funkenstrecke und der ersten Brücke liegenden Theilsysteme zu.

Später[2]) erwähnte Mazzotto als experimentelles Ergebniss, dass die Wellenlängen der verschiedenen Schwingungen, die gleichzeitig beobachtet werden, die ungeraden Glieder einer harmonischen Reihe bilden, das Ergebniss sollte aber vom Abstande zwischen den primären Platten und der Funkenstrecke abhängen. Ich habe noch nicht direct diese Ansicht geprüft und ich kann nur betonen, dass meine Resultate sich erklären lassen, ohne dass der genannte Abstand wesentlichen Einfluss auf die Verhältnisse der einzelnen Schwingungszahlen hat.[3])

Mazzotto hat jüngst Beobachtungen der Oberschwingungen bei Blondlot'schen Apparaten veröffentlicht[4]), welche von den meinigen beträchtlich abweichen. Er findet z. B. mit einem Apparat, dessen Grösse fast gleich der Grösse des von mir benutzten war (meine Resultate sind in Klammern daneben gesetzt):

---

1) Mazzotto, Atti della R. Acc. delle Scienze di Torino **28**. Sep.-Abd. p. 18. 1893.

2) l. c. **29**. Sep.-Abd. p. 11. 1894.

3) Dieser Abstand kann auf die entsandten Perioden nur Einfluss bei kurzen Brückendistanzen l haben, weil dann die Selbstinduction des Erregersystemes merkbar von jenem Abstand abhängt; vgl. hierüber Drude, Wied. Ann. **61**. p. 634. 1897, wo auch Versuche diese Ansicht bestätigen.

4) Mazzotto, Sulle vilrazioni coesistenti nell' apparato Blondlot. Nuovo Cimento (4) **6**. 1897.

l	$\frac{\lambda_g}{\lambda_1}$	
50	1.88	(1,60)
100	1,72	(1,66)
150	1,57	(1,73)
200	1,46	(1,73)

also mit wachsendem l abnehmende Werthe des Verhältnisses der Grundschwingung zu der Oberschwingung, während das Verhältniss bei meinen Versuchen für fast gleiche Wellenlängen der Grundschwingungen zunächst zunimmt und dann nahezu constant bleibt.

Wenn der Condensator vorhanden ist, so bestehen die Abweichungen wenigstens bei den absoluten Werthen, während der Verlauf der Aenderung der gleiche zu sein scheint.

l	$\frac{\lambda_g}{\lambda_1}$	
100	2,08	(1,82)
200	1,51	(1,62)

Was die zweite Oberschwingung betrifft, so ist es mir gelungen, dieselbe nur von $l = 200$ an mit Sicherheit zu beobachten und Mazzotto giebt deren Wellenlänge nur bis $l = 128$ cm.

Ein directer Vergleich (für gleiches l) meiner Resultate mit denen Mazzotto's kann also hinsichtlich der zweiten Oberschwingung nicht angestellt werden; aber Uebereinstimmung ist jedenfalls auch hier nicht vorhanden, da das von mir gefundene Verhältniss $\lambda_g : \lambda_2$ um 2,5 schwankt, während es nach Mazzotto den Werth 3, ja sogar 5 übersteigen würde.

Ob diese Differenzen durch Constructionsverschiedenheiten meines Erregers bez. Mazzotto's hervorgerufen sind, vermag ich nicht mit Sicherheit zu sagen, es erscheint mir aber unwahrscheinlich. Die von mir angewandte Methode zur Auffindung der Oberschwingungen ist so einfach und jedenfalls directer, als die Mazzotto's, sodass ich grosse Irrthümer meinerseits für unwahrscheinlich halte, zumal meine Resultate mit der Theorie in gutem Einklang stehen in den Fällen, bei denen man sie mit ihr vergleichen kann (bei der Lecher'schen Anordnung).

Wie bei der Lecher'schen Anordnung, so nimmt auch bei der Blondlot'schen Anordnung die Zahl der wahrnehmbaren Oberschwingungen mit wachsendem Abstand l der ersten Brücke von der secundären Platte zu. Es ist jedenfalls interessant, dass man bei $l = 65$ cm vier Oberschwingungen beobachten konnte. Die Intensität derselben wächst ebenso mit l und bei dem grösseren Apparat war die erste Oberschwingung ebenso stark wie die Grundschwingung, wenn l 200 cm betrug.

Es ist nicht sehr leicht, die Stärke der Schwingungen mittels der Zehnder'schen Röhre zu beurtheilen, um so mehr, als man weit von derselben stehen muss, um die zweite Brücke verschieben zu können. Deswegen werde ich eine besondere Untersuchung der Intensität durch die bolometrische Methode ausführen.

Paris, Januar 1898.

Zusatz von P. Drude. Kürzlich hat Eckström[1]) in einer Arbeit über electrische Schwingungen ausgesprochen, dass die Resultate meiner Versuche[2]) über Oberschwingungen, auf denen auch die vorstehende Arbeit basirt ist, eventuell auf Täuschung beruhen könnten. Ich vermuthe, dass Eckström die vollständige Theorie[3]) dieser Versuche nicht gekannt hat. Aus der dort entwickelten theoretischen Behandlung geht die Nothwendigkeit der Erklärung jener Versuchsresultate durch wirklich vorhandene Oberschwingungen des Erregers hervor. Ausserdem werden die Vermuthungsgründe von Eckström dadurch hinfällig, weil auch die beim Blondlot'schen Erreger gefundenen Oberschwingungen nicht genau harmonisch zur Grundschwingung sind. Dies Resultat, welches in der vorstehenden Arbeit von Lamotte enthalten ist, habe ich bestätigt gefunden. Wenn bei einem kleinen Blondlot'schen Erreger der Construction, wie ich sie meist angewandt habe (Erregerdrähte ohne angehängte Capacität, einen Kreis von 5 cm Durchmesser umschliessend), die erste Brücke B_1 um 48 cm von den Erregerfunken entfernt lag, so ergaben

---

1) A. Eckström, Wied. Ann. **64.** p. 321. 1898.

2) Dieselben sind zuerst in Wied. Ann. **55.** p. 636. 1895, allerdings nur nebensächlich, erwähnt.

3) P. Drude, Ber. d. k. sächs. Gesellsch. d. Wissensch., math.-physik. Klasse **23.** p. 63. 1896.

sich für eine zweite Brücke B_2 in folgenden Distanzen d von B_1 Resonanzlagen

$$d_1 = 67, \quad d_2 = 36, \quad d_3 = 23{,}5, \quad d_4 = 17{,}5 \text{ cm}.$$

Bildet man die Verhältnisse, so folgt

$$\frac{d_1}{d_2} = 1{,}86, \quad \frac{d_1}{d_3} = 2{,}85, \quad \frac{d_1}{d_4} = 3{,}43.$$

Würde man also die Brückendistanzen mit den verschiedenen $^1/_2\,\lambda$ identisch ansehen, so folgt schon, dass die Verhältnisse der Schwingungszahlen 1 : 2 : 3 : 4 nur annähernd, aber nicht genau, erreicht werden. Die Brückendistanzen sind aber kleiner als $^1/_2\,\lambda$; dadurch weichen die Verhältnisse der Schwingungszahlen noch mehr von der harmonischen Reihe ab. Addirt man, was nahezu richtig ist, zu jeder Brückendistanz d noch die Brückenlänge (2 cm), um $^1/_2\,\lambda$ zu erhalten, so ergeben sich folgende Verhältnisse der drei Oberschwingungen λ_1, λ_2, λ_3 zur Grundschwingung λ_g:

$$\frac{\lambda_g}{\lambda_1} = 1{,}81, \quad \frac{\lambda_g}{\lambda_2} = 2{,}70, \quad \frac{\lambda_g}{\lambda_3} = 3{,}54.$$

Schliesslich ergiebt auch die gute Uebereinstimmung der Lamotte'schen Zahlen mit der Theorie beim Lecher'schen System, dass die Methode keine Täuschung enthält, sondern die „objectiv" vorliegenden Obertöne ergiebt.

Die Methode hat übrigens ihr völliges Analogon in der Akustik, in der man durch Anwendung einer Reihe von Resonatoren eine Klanganalyse ausführt. Man hat hier nur die grössere Bequemlichkeit, anstatt einer Reihe von Resonatoren einen einzigen mit continuirlich zu ändernder Eigenschwingung anzuwenden, gerade als ob man in einem akustischen Resonator durch Wasserzufluss oder Abfluss seinen Grundton continuirlich verändern würde.

(Eingegangen 3. Februar 1898.)