

Wenn man für erwiesen hält, dass die im Vorstehenden dargelegten Erscheinungen nicht durch Zufälligkeiten der Versuchsanordnung oder Beobachtungsmethode, sondern durch die Eigenschaften des untersuchten Materials selbst veranlasst sind, und wenn man ferner annimmt, dass dieselben nicht durch magnetische Eigenschaften des letztern bedingt sind, so wird man sie in allgemeinsten Fassung folgendermassen beschreiben können:

„Ein gespannter Draht verhält sich, *ceteris paribus*, verschieden, je nachdem er vorher schwächer oder stärker gespannt war, und diese Verschiedenheit dauert bis zur nächsten Aenderung der Spannung.“

In dieser Allgemeinheit formulirt, finden sich die Ergebnisse der Untersuchung in Uebereinstimmung mit Beobachtungen von W. Thomson über Torsionsschwingungen gespannter Aluminiumdrähte.¹⁾

Andere Beobachtungen, die sich in irgend einen Zusammenhang mit den meinigen bringen lassen, sind mir nicht bekannt.²⁾

Physik. Institut der Univ. Strassburg, 2. Mai 1878.

VI. *Zur Theorie des Mikrophons;* *von Hermann Aron.*

Das Mikrophon beruht bekanntlich darauf, dass Vibrationen in demselben Aenderungen des Widerstandes hervorrufen, wodurch Stromschwankungen entstehen, die man mittelst eines Telephons wahrnimmt. Es soll im Folgenden der Fall behandelt werden, dass die Widerstandsschwankungen unendlich klein gegen den Gesamtwiderstand

1) Phil. mag. (IV.) XXX. p. 64, unter c.

2) Nach dem Abschluss der vorliegenden Untersuchung ist im Maiheft des Philosophical Magazine eine Arbeit von von Tunzelmann erschienen, welche denselben Gegenstand behandelt, deren Resultate jedoch mit den hier mitgetheilten nicht übereinstimmen.

sind, und es soll ferner die Rückwirkung der schwingenden Platte auf die Leitung, wodurch jedenfalls nur Stromwellen, die gegen die ursprünglichen von geringer Stärke sind, entstehen, vernachlässigt werden. Die Gleichung, die den Vorgang darstellt, wird alsdann: $JW = E - Q \frac{dJ}{dt}$.

Hier bedeutet E die electromotorische Kraft der angewandten Kette, W den Widerstand, J die Stromintensität und Q das electrodynamische Potential der Schliessung auf sich.

Wir setzen nun $W = W_0 + w$, $J = J_0 + i$; W_0 und J_0 bedeuten Widerstand und Stromstärke im Ruhezustande, w und i deren Schwankungen während der Vibrationen; w und i sind gemäss unserer Annahme kleine Grössen. Unsere Gleichung wird nach dieser Substitution:

$$(J_0 + i)(W_0 + w) = E - Q \frac{d(J_0 + i)}{dt}.$$

Berücksichtigen wir, dass $J_0 W_0 = E$, dass iw eine kleine Grösse zweiter Ordnung ist, die wir im Vergleich mit denen erster Ordnung vernachlässigen wollen, und dass $\frac{d(J_0 + i)}{dt} = \frac{di}{dt}$ ist, so nimmt unsere Gleichung die Form an:

$$(1) \quad J_0 w + W_0 i + Q \frac{di}{dt} = 0.$$

An diese Gleichung können wir folgende Bemerkung knüpfen. Sind w_1 und i_1 , ebenso w_2 und i_2 zwei Wellensysteme, die der Gleichung genügen, so genügt ihr auch $w_1 + w_2$ und $i_1 + i_2$; das heisst, die verschiedenen Wellensysteme superponiren sich, ohne sich gegenseitig zu stören. Diese Eigenschaft muss das Mikrophon nothwendig haben, wenn die meisten Einwirkungen auf dasselbe sich nicht ganz oder zum grossen Theil als Geräusche äussern sollen; sie folgte aber aus der Annahme sehr kleiner Widerstandsänderungen im Verhältniss zu dem Gesamtwiderstand, weil dadurch die Gleichung linear wurde; wir sehen somit, dass die Erfüllung dieser Bedingung auch praktisch für die gute Wiedergabe eines Klanges nothwendig ist.

Zerlegen wir nun jede Vibration in Summanden gemäss der Fourier'schen Reihe, so brauchen wir nur die einzelnen Summanden zu behandeln. Demgemäss sei $w = A \sin \frac{t}{T} 2\pi$, die zugehörige Stromwelle sei $i = B \sin \left(\frac{t}{T} 2\pi + \delta \right)$, sodass wir die Phasenänderung δ annehmen; dies, in die Gleichung (1) eingesetzt, ergibt:

$$J_0 A \sin \frac{t}{T} 2\pi + W_0 B \sin \left(\frac{t}{T} 2\pi + \delta \right) + \frac{2\pi Q B}{T} \cos \left(\frac{t}{T} 2\pi + \delta \right) = 0.$$

Entwickeln wir links nach $\sin \frac{t}{T} 2\pi$ und $\cos \frac{t}{T} 2\pi$ und setzen deren Factoren einzeln gleich 0, so erhalten wir zwei Gleichungen für B und δ :

$$J_0 A + W_0 B \cos \delta - \frac{2\pi Q B}{T} \sin \delta = 0,$$

$$W_0 B \sin \delta + \frac{2\pi Q B}{T} \cos \delta = 0.$$

Aus der letzten Gleichung folgt, dass:

$$(2) \quad \operatorname{tg} \delta = - \frac{2\pi Q}{W_0 T}.$$

Die Phasenänderung ist also um so grösser, je kleiner T , das heisst je höher der Ton ist; für die Amplitude findet man:

$$(3) \quad B = \frac{A J_0 \cos \delta}{W_0} \quad \text{oder auch} \quad B = \frac{A E}{W_0^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4\pi^2 Q^2}{W_0^2 T^2}}}.$$

Aus dieser Formel folgt, dass nicht alle Amplituden in gleichem Maasse geändert werden, sondern sie werden verhältnissmässig kleiner für Töne, für die $\frac{4\pi^2 Q^2}{W_0^2 T^2}$ grösser ist; dies wird aber kleiner für grössere T , d. h. je höher der Ton ist, desto geringer wird seine Amplitude; und dies ist um so mehr der Fall, je grösser $\frac{4\pi^2 Q^2}{W_0^2}$ ist, d. h. je kleiner der Widerstand, und je grösser Q , das electro-

dynamische Potential ist; grosse Rollen, insbesondere mit Eisenkernen, wirken also nachtheilig ein.

In seiner Arbeit „Telephon und Klangfarbe“¹⁾ zeigte Hr. Helmholtz, dass es auch beim Telephon auf den Ausdruck $\frac{4\pi^2 Q^2}{W_0^2 T^2}$ ankommt, aber gerade in umgekehrtem Sinne, sodass beim Telephon die höheren Töne den tieferen gegenüber begünstigt werden; es ergibt sich also das eigenthümliche Resultat, dass im Telephon die Klangfarbe erhöht, im Mikrophon dagegen vertieft wird.

Es lässt sich nun eine Combination vom Telephon mit dem Mikrophon herstellen, bei der überhaupt die electriche Uebertragung keine Veränderung der Klangfarbe bewirkt. Diese Combination soll zum Geben dienen, während als Empfänger ein Telephon in der üblichen Weise benutzt wird. Als Gleichung für die mit Hülfe eines solchen Systems erregten Stromwellen findet man gemäss der obigen Betrachtungsweise, wenn man noch mit M die Schwankung des magnetischen Moments des Magneten im Telephon des Gebers bezeichnet:

$$J_0 w + W_0 i = -\frac{dM}{dt} - Q \frac{di}{dt},$$

und setzt man:

$$w = A \sin \frac{t}{T} 2\pi, \quad M = B \sin \frac{t}{T} 2\pi, \quad i = C \sin \left(\frac{t}{T} 2\pi + \delta \right),$$

so erhält man zur Bestimmung von C und δ folgende Gleichungen:

$$\frac{2\pi}{T} Q C \sin \delta - W_0 C \cos \delta = J_0 A,$$

$$W_0 C \sin \delta + \frac{2\pi}{T} Q C \cos \delta = -\frac{2\pi}{T} B,$$

woraus folgt:

$$C \sin \delta = \frac{\frac{2\pi}{T} (J_0 A Q - W_0 B)}{W_0^2 + \frac{4\pi^2}{T^2} Q^2}, \quad C \cos \delta = -\frac{J_0 W_0 A + \frac{4\pi^2}{T^2} B Q}{W_0^2 + \frac{4\pi^2}{T^2} Q^2}.$$

1) Wied. Ann. V. p. 448. 1878.

Wählt man die Verhältnisse so, was auf verschiedene Weise geschehen kann, dass:

$J_0 A Q - W_0 B = 0$ ist, so ist $\delta = 0$ und $C = -J_0 A$.

Durch die electriche Uebertragung tritt also weder eine Aenderung der Phase noch der Klangfarbe ein.

Charlottenburg, im December 1878.

VII. Uebertragung hoher Töne durch das Telephon; von Eduard Hagenbach.

Die Theorie des Bell'schen Telephons ist in den wesentlichen Punkten durch die Untersuchungen der Herren E. Du Bois-Reymond, L. Hermann, H. F. Weber und Helmholtz aufgeklärt worden; dabei wurde stets vorausgesetzt, dass die Ausbiegungen der schwingenden Eisenlamelle einerseits den Amplituden der Luftschwingungen und andererseits den zeitlichen Schwankungen des electromagnetischen Potentials der magnetischen Massen im Telephon proportional seien. Es ist nun aber nicht durchaus selbstverständlich, dass eine steife Eisenplatte, selbst wenn sie dünn ist, den auf sie einwirkenden Kräften mit unbedingtem Gehorsam folge. Bei einer weichelastischen Membran, z. B. einem dünnen Kautschukhäutchen, wo die eigene Elasticität selbst bei merklichen Ausschlägen nur unbedeutend wirkt und somit ausser Betracht fällt, wo auch die zu bewegende Masse und die zu überwindende innere moleculare Reibung verhältnissmässig klein sind, lässt sich ein so vollkommenes Nachgeben leicht begreifen; nicht so bei hartelastischen Körpern mit grossem Elasticitätsmodul. Bei solchen Körpern wird es schon mehr Umstände und mehr Zeit erfordern, um sie in Schwingung zu versetzen; auch wissen wir, dass hartelastische