

Der früher für einen Zeitmoment hergeleitete Satz, nach welchem das Product aus der Rotationsgeschwindigkeit in den Querschnitt des Wirbelfadens eine Constante ist, gilt somit allgemein, sobald die Wirbelfäden stets aus den nämlichen Flüssigkeitstheilchen gebildet werden.

Bekanntlich ist die gemachte Annahme mit derjenigen identisch, dass die auf die Flüssigkeit wirkenden Kräfte ein Potential besitzen.

Was schliesslich den entsprechenden Satz anbelangt, nach welchem das Product aus der Stromgeschwindigkeit in den Querschnitt des Stromfadens constant ist, sobald die Stromfäden stets aus den nämlichen Flüssigkeitstheilchen gebildet werden, so bedarf er keiner weiteren Herleitung. Er ist infolge der vorausgesetzten Incompressibilität von vornherein evident.

Die Inductionsvorgänge im Telephon

von

H. F. Weber.

[Der Züricher naturforschenden Gesellschaft in der Sitzung vom 1. Juli 1878 mitgetheilt.]*)

Hr. Dubois-Reymond hat in dem Aufsätze: «Zur Kenntniss des Telephons [Archiv für Physiologie, 1877,

*) Zusatz. Zehn Tage später, am 11. Juli 1878, hat Hr. Helmholtz der Berliner Academie der Wissenschaften eine Abhandlung überreichen lassen, in welcher er denselben Gegenstand in derselben Weise behandelt.

Dass ich bereits am 1. Juli den Inhalt der folgenden Mittheilung bekannt gemacht habe, geht u. A. aus dem folgenden Zusatz

pg. 573 u. 582] folgende Theorie der Inductions Vorgänge im Telephon gegeben:

Die zeitlichen Schwankungen des electromagnetischen Potentials P der magnetischen Massen im Telephon bezüglich der Strombahn dürfen in erster Annäherung den Ausbiegungen der schwingenden Eisenlamelle proportional gesetzt werden. Durchläuft die erregende Lamelle Schwingungen von der Form $\Sigma A_m \sin(2\pi n m t)$, so sind die zeitlichen Schwankungen des electromagnetischen Potentials durch den Ausdruck $P - P_0 = \Sigma B_m \sin(2\pi n m t)$ gegeben, wo P_0 den der Gleichgewichtsstellung der Lamelle entsprechenden Werth von P bezeichnet. Hr. Dubois-Reymond sieht von der Induction der Strombahn auf sich selber als einem unwesentlichen Vorgange ab und stellt als wesentlich wirkende electromotorische Kraft nur die aus dem Werthe von P nach dem allgemeinen Inductionsgesetze sich ergebende auf:

$$E = \frac{\partial P}{\partial t} = \Sigma B_m \cdot 2\pi n m \cdot \cos(2\pi n m t).$$

Der im Telephon erregte Strom ist dieser Grösse proportional; ebenso die Ausbiegung der erregten Lamelle im empfangenden Telephon. Haben die das Telephon erregenden Luftschwingungen die Form $\Sigma A_m \cdot \sin(2\pi n m t)$, so nehmen die von dem Telephon erregten Luftschwingungen die Gestalt $\Sigma A_m^1 \cdot 2\pi n m \cdot \cos(2\pi n m t)$ an. Bei

hervor, den Hr. Hermann seiner letzten Arbeit in den Annalen der Physik und Chemie, neue Folge, 5. Band, p. 91 am 2. Juli hat beifügen lassen: „Hrn. Professor Fr. Weber in Zürich ist es gelungen zu zeigen, dass das von mir gefundene Verhalten mit dem Inductionsgesetz im Einklang, und letzteres in der von mir bekämpften Theorie nur unrichtig angewandt worden ist. Derselbe wird hierüber nächstens Mittheilung machen.“

der telephonischen Uebertragung wird also die Klangfarbe der Schallbewegung nothwendig verändert: die Partialtöne höherer Schwingungszahl treten in dem übertragenen Klange stärker hervor als die Partialtöne mit kleinerer Schwingungszahl. Zugleich findet eine Phasenverschiebung statt in dem Betrage von $\frac{\pi}{2}$.

Hr. Hermann hat gezeigt [in seinen telephonischen Notizen in Pflüger's Archiv für Physiologie, XVI, 264 und 314 und in seinen neuesten dieser Gesellschaft mitgetheilten Versuchen], dass sich diese Folgerungen der Theorie des Hrn. Dubois-Reymond an der Erfahrung nicht bewähren. Hr. Hermann stellte folgende Versuche an:

I. In den Kreis eines Telephons wurde die eine Rolle eines Rollenpaares und in den Kreis eines zweiten Telephons die andere der ersteren parallel stehende Rolle eingeschaltet. Alle Worte und Buchstaben, die in das erste Telephon hineingesprochen wurden, waren aus dem zweiten heraus deutlich zu hören. Dasselbe Resultat ergab sich auch dann noch, als ein zweites, drittes, viertes Rollenpaar in gleicher Weise zwischen die beiden Telephone eingeschaltet wurde. Daraus schliesst Hr. Hermann, dass die Induction auf das Intensitätsverhältniss der Partialtöne eines Klanges ohne spürbaren Einfluss ist; nach Hrn. Dubois-Reymond's Theorie müsste in diesen Fällen vervielfachter Induction eine ganz beträchtliche Aenderung der Klangfarbe eintreten.

II. In einer Inductionsspirale wurden durch eine in der Nähe befindliche oscillirende magnetische Stimmgabel oscillirende Ströme I erregt. Diese Ströme wurden einem Telephon zugeführt. In den Kreis der Ströme I war das eine Gewinde einer doppelt gewickelten feindrähtigen

Boussolrolle eingeschaltet. Die in dem zweiten Gewinde der Rolle inducirten Ströme I_1 wurden unter Einschaltung einer Wippe und eines Schlüssels ebenfalls dem Telephon zugeleitet. Ausserdem konnte das Telephon nach Belieben aus dem Kreise der Ströme I aus- oder in denselben wieder eingeschaltet werden. Man konnte so der Reihe nach untersuchen: die Wirkung der Ströme I , die Wirkung der Ströme I_1 , die resultirende Wirkung der gleichgerichteten Ströme I und I_1 und die resultirende Wirkung der entgegengesetzt gerichteten Ströme I und I_1 . Es zeigte sich, dass die Ströme I_1 stets die entgegengesetzte Richtung hatten als die Ströme I ; dass die Ströme I_1 etwas schwächere Wirkung im Telephon ausübten als die Ströme I ; dass die resultirende Wirkung der gleichgerichteten Ströme fast gleich dem Doppelten der Einzelwirkung ausfiel und dass die resultirende Wirkung der entgegengesetzt gerichteten Ströme nahezu gleich Null war. Aus diesen Versuchen schliesst Hr. Hermann, dass die Phasen der oscillirenden Ströme I und I_1 nicht um $\frac{\pi}{2}$ gegen einander verschoben sein können, dass sie vielmehr nahezu zusammenfallen müssen.

Hr. Hermann glaubt durch diese Versuchsreihen evident gemacht zu haben, dass durch die im Telephon ablaufende Induction weder die Amplitüden noch die Phasen der Partialtöne eines Klanges merkbar geändert werden, dass demnach die oben dargelegten Folgerungen der Theorie des Hrn. Dubois-Reymond den Thatsachen nicht entsprechen. Ob und wie die Ergebnisse seiner Versuche mit dem allgemeinen Inductionsgesetze in Einklang gebracht werden können, lässt er dahingestellt sein.

Die folgende Mittheilung soll zeigen, dass die von

Hrn. Hermann gewonnenen experimentellen Ergebnisse in vollständigstem Einklang mit dem allgemeinen Inductionsgesetz stehen und als neue interessante Belege für die Allgemeingültigkeit dieses Gesetzes angeführt werden können. Dieser vollständige Einklang wird erzielt, sobald alle Inductionsvorgänge, die in den telephonischen Kreisen verlaufen, in Betracht gezogen werden. Hr. Dubois-Reymond hat die Induction des telephonischen Kreises in Bezug auf sich selber, als unwesentlich, bei Seite gelassen; aus den folgenden Betrachtungen geht hervor, dass diese Induction das wesentlich bestimmende Moment im telephonischen Prozesse ist.

Es möge sich ein Telephon in einem geschlossenen Kreise befinden; ein zweites Telephon soll in einen anderen geschlossenen Kreis eingefügt sein; beide Kreise seien so beschaffen und so gestellt, dass sie eine starke gegenseitige Induction auf einander ausüben. Es soll bedeuten:

- a) für denjenigen der beiden geschlossenen Kreise, der das erregende Telephon T enthält:

W den Widerstand des Kreises,

I die Stromstärke dieses Kreises,

Q das electrodynamische Potential dieses Kreises auf sich selbst,

P das electromagnetische Potential der magnetischen Massen im Telephon T bezüglich der Stromleitung;

- b) für den anderen geschlossenen Kreis, welcher das erregte Telephon T_1 enthält:

W_1 den Widerstand des Kreises,

I_1 die erregte Stromstärke,

Q_1 das electrodynamische Potential dieses Kreises auf sich selbst;

endlich soll R das gegenseitige electrodynamische Potential der beiden Kreise sein.

Das allgemeine Inductionsgesetz liefert zur Bestimmung der beiden Stromstärken I und I_1 die beiden Gleichungen:

$$\left. \begin{aligned} I \cdot W &= \frac{\partial P}{\partial t} - Q \frac{\partial I}{\partial t} - R \frac{\partial I_1}{\partial t} \\ I_1 \cdot W_1 &= -Q_1 \frac{\partial I_1}{\partial t} - R \frac{\partial I}{\partial t} \end{aligned} \right\} \dots (1).$$

Das electromagnetische Potential P möge die Form haben:

$$P = P_0 + A \sin(2\pi n t).$$

Die Lösungen:

$$I = C \sin(2\pi n t + \alpha)$$

$$I_1 = C_1 \sin(2\pi n t + \alpha_1)$$

genügen den Gleichungen (1), falls die Amplituden C und C_1 folgende Werthe haben:

$$C = \frac{A}{Q} \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{W_1}{2\pi n Q_1}\right)^2}{\left[\frac{W}{2\pi n Q} + \frac{W_1}{2\pi n Q_1}\right]^2 + \left[1 - \frac{R^2}{QQ_1} - \frac{WW_1}{(2\pi n)^2 QQ_1}\right]^2}} \quad (2)$$

$$C_1 = - \frac{A \cdot R}{QQ_1 \sqrt{\left[\frac{W}{2\pi n Q} + \frac{W_1}{2\pi n Q_1}\right]^2 + \left[1 - \frac{R^2}{QQ_1} - \frac{WW_1}{(2\pi n)^2 QQ_1}\right]^2}} \quad (3)$$

und den Phasen α und α_1 folgende Werthe gegeben werden:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\left[1 + \left(\frac{W_1}{2\pi n Q_1}\right)^2\right] \frac{W}{2\pi n} + \frac{R^2}{Q_1^2} \frac{W_1}{2\pi n}}{\left[1 + \left(\frac{W_1}{2\pi n Q_1}\right)^2\right] Q - \frac{R^2}{Q_1}} \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\frac{W_1}{2\pi n Q_1} + \frac{W}{2\pi n Q}}{1 - \frac{R^2}{QQ_1} - \left(\frac{W}{2\pi n Q}\right) \left(\frac{W_1}{2\pi n Q_1}\right)} \quad (5)$$

Befinden sich die beiden Telephone in einem und demselben Kreise, dessen Widerstand W_0 und dessen electro-dynamisches Potential auf sich selbst Q_0 , so ergibt sich aus der Gleichung (2) als Ausdruck der Amplitude des entstehenden oscillirenden Stroms:

$$C_0 = \frac{A}{Q_0 \sqrt{1 + \left(\frac{W_0}{2\pi n Q_0}\right)^2}} \quad (6)$$

und die Phase α_0 ist in diesem Falle durch die sich aus (4) ergebende Gleichung bestimmt:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{W_0}{2\pi n Q_0} \quad (7)$$

Die erhaltenen Resultate zeigen:

1) Bei der telephonischen Uebertragung wird im Allgemeinen die Klangfarbe verändert, da die Amplitude des oscillirenden Stroms C_1 (resp. C_0) von der Schwingungszahl n des erregenden Potentials P , d. h. von der Schwingungszahl des erregenden einfachen Tones abhängig ist.

2) Die bei der telephonischen Uebertragung eintretende Phasenverschiebung ist keine constante Grösse; ihr Betrag wechselt mit der Beschaffenheit der Strombahn und ist abhängig von der Schwingungszahl n .

3) In gewissen Fällen wird jedoch die Amplitude C_1 (resp. C_0) des inducirten Stromes von der Schwingungszahl n unabhängig, die Klangfarbe des erregenden Tones also nicht verändert. Dieses tritt ein, sobald die Grössen

$$\frac{W}{2\pi n Q} \quad \text{und} \quad \frac{W_1}{2\pi n Q_1}$$

so klein ausfallen, dass ihre zweiten Dimensionen gegen-

über 1 vernachlässigt werden dürfen. Die für C , C_1 und C_0 in diesem Falle resultirenden Werthe sind:

$$C = \frac{AQ_1}{QQ_1 - R^2} \quad C_1 = -\frac{A \cdot R}{QQ_1 - R^2} \quad C_0 = \frac{A}{Q}$$

Die Phasen sind unter diesen Verhältnissen durch die Gleichungen bestimmt:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{W}{2\pi n} Q_1 + \frac{R^2}{Q_1} \frac{W_1}{2\pi n}}{QQ_1 - R^2} \quad \text{und} \quad \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\left(\frac{W_1}{2\pi n}\right) Q + \left(\frac{W}{2\pi n}\right) Q_1}{QQ_1 - R^2}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{W_0}{2\pi n Q_0}.$$

Die Phasenverschiebungen α , α_1 , α_0 sind demnach kleine Grössen gleicher Ordnung, die in dem Grenzfalle:

$$\frac{W}{2\pi n Q} = \frac{W_1}{2\pi n Q_1} = \frac{W_0}{2\pi n Q_0} = 0$$

zu Null werden.

Die für diesen speciellen Fall deducirten Resultate sind aber der Ausdruck der von Hrn. Hermann erhaltenen experimentellen Ergebnisse. Lässt sich zeigen, dass in der That in den Versuchen des Hrn. Hermann die Grössen $\frac{W}{2\pi n Q}$ und $\frac{W_1}{2\pi n Q_1}$ sehr kleine Werthe waren, so ist die vollständige Uebereinstimmung der Versuchsergebnisse mit dem allgemeinen Inductionssetze nachgewiesen. Eine nähere Betrachtung der Dimensionen, der Windungszahlen und der Widerstände der benützten Rollen und Telephone lässt erkennen, dass die genannten Quotienten wirklich kleine Werthe waren.
