

**13. Eine neue Methode zur Messung von
Selbstpotentialen und Inductionscoefficienten;
von L. Graetz.**

(Aus den Sitzungsber. der bayr. Akad. d. Wissensch. 1893. Bd. 23, Heft 2.)

Für die jetzt im Vordergrunde des Interesses stehenden electrischen Oscillationen, sowie für die praktisch immer häufiger angewendeten electrischen Wechselströme spielt das Selbstpotential von Drähten und Rollen eine ebenso wichtige Rolle wie für Gleichströme der Widerstand. Und doch ist die Messung und Vergleichung von Selbstpotentialen bisher noch eine recht schwierige Aufgabe der messenden Physik. Die von Maxwell herrührenden Methoden für diese, sei es absoluten, sei es relativen Messungen, setzen ein äusserst empfindliches Galvanometer und günstige äussere Umstände voraus und liefern auch bei relativen Messungen durch recht mühsame doppelte Abgleichung nur dann ein Resultat, wenn es sich um ziemlich grosse Werthe des Selbstpotentials handelt; bei kleinen Werthen desselben versagen sie ganz. Die Methode von Oberbeck ¹⁾, bei welchen die beiden Rollen eines Electrometers von Wechselströmen mit der Phasendifferenz $\pi/2$ durchflossen werden, erfordert nicht so viele Einzelmessungen; dagegen ist bei ihr die Anwendung reiner Sinusschwingungen nothwendig und sowohl die Erzeugung derselben, wie insbesondere auch die für die Messung nothwendige genaue Bestimmung der Periode dieser Schwingungen macht diese Methode nicht weniger mühsam, als die vorher erwähnten. Bei sorgfältiger Behandlung ergab sie allerdings in den Händen von Oberbeck selbst, dann von Puluj ²⁾ und Troje ³⁾ gut brauchbare Resultate. Dieselbe Schwierigkeit der genauen Zeitmessung haftet auch der Methode von Wien ⁴⁾ an, welcher das optische Telephon für diese Messungen benutzte.

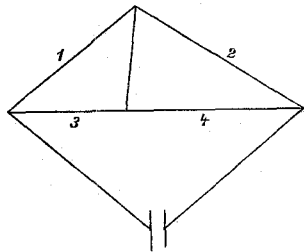
1) Oberbeck, Wied. Ann. 17. p. 816 u. 1040. 1882.

2) Puluj, Electrotechn. Zeitschr. 12. p. 346. 1891.

3) Troje, Wied. Ann. 47. p. 501. 1892.

4) Wien, Wied. Ann. 44. p. 689. 1891.

Einfachere Verhältnisse lassen sich herstellen, wenn man das zuerst von Hughes eingeführte, aber allerdings von ihm ganz incorrect behandelte Hilfsmittel benutzt, dass man in eine Stromverzweigung, welche das zu messende Selbstpotential enthält, noch eine variable Induction einführt, sei es wieder eine Selbstinduction oder eine gegenseitige Induction. Die Irrthümer in der Hughes'schen Interpretation seiner Messungen sind von Heaviside¹⁾, Rayleigh²⁾ und H. F. Weber³⁾ aufgedeckt worden. Sie bestehen darin, dass Hughes annahm, dass bei der Abgleichung in der Wheatstone'schen Brücke, bei welcher ein Telephon nicht bloss ein Minimum des Tones gibt, sondern vollständig verstummt, nicht bloss die Widerstände zu beiden Seiten der Brücke, sondern auch die Inductionen sich jede für sich gegenseitig compensiren, während in Wirklichkeit dann im allgemeinen eine complicirte Beziehung zwischen den Inductionen und den Widerständen stattfindet, die auch noch von der Schwingungszahl der Wechselströme abhängt. Indess lässt sich der Gedanke von Hughes, wie zuerst Lord Rayleigh⁴⁾ zeigte, durch andere Schal-



tung verwirklichen. Rayleigh selbst wendete nach manchen anderen Versuchen folgende Schaltung an. In der Wheatstone'schen Brücke wurden die Zweige 3 und 4 aus gleichen Widerständen von je $\frac{1}{2}$ Ohm gebildet. Zwischen den Zweigen 1 und 2 befand sich ein ausgespannter Draht mit verschiebbarem Contact. In den Zweig 1 wurde eine Rolle von passender Selbstinduction und ein Rheostat (ohne Selbstinduction) gebracht, in den Zweig 2 die zu messende Selbstinduction und eine variable Selbstinduction, bestehend aus zwei hintereinander geschalteten ineinander drehbaren Rollen, für die das variable Selbstpotential für jede Lage bestimmt war. In die Brücke kam ein Telephon. Konnte man durch Aende-

1) Heaviside, Phil. Mag. (5) 22. 1886.

2) Rayleigh, Journ. Tel. Eng. 15. p. 54. 1886.

3) H. F. Weber, Rep. Phys. 22. p. 290. 1886.

4) Rayleigh, Phil. Mag. (5) 22. p. 469. 1886.

rung des Widerstandes und der Induction das Telephon zum Schweigen bringen, so mussten sich die beiden Zweige 1 und 2 sowohl in Bezug auf Widerstand, wie in Bezug auf Induction gleich verhalten. Die Methode ist sehr gut, wenn die variable Selbstinduction genügend verschiedene Werthe derselben gibt, um in weiten Kreisen die Compensation hervorzubringen. Das ist nur dann möglich, wenn der Widerstand derselben auch ziemlich erheblich ist, wodurch die Methode in der Anwendbarkeit doch recht beschränkt erscheint. Ayrton und Perry¹⁾ haben auf Grund dieser Methode jüngst ein von ihnen „Secohmmeter“ und ein „Standard of Self-induction“ genanntes Instrument construiert, welche solche Messungen für technische Zwecke gestatten sollen. Ihre Standardrolle, die das Intervall von $8 \cdot 10^6$ bis $40 \cdot 10^6$ cm umfasst, hat schon 12 Ohm Widerstand.

Einfacher und in der Anwendung umfassender erschien es, die Schaltung so einzurichten, dass in der Wirkung auf das Telephon ein Theil der Induction durch den Widerstand compensirt wird und nur der übrigbleibende Theil durch eine variable Induction. Man konnte dadurch zunächst mit kleineren Apparaten arbeiten. Ferner erschien es vortheilhaft, variable Contacte vollständig in den Brückenweig zu verlegen, in welchem sie keine Unsicherheit hervorbringen können.

Es wurde daher folgende Methode ausgearbeitet:

Hat man in den Zweigen 1 und 2 der Wheatstone'schen Combination beliebige Selbstpotentiale L_1 und L_2 und ausserdem beliebige gegenseitige Inductionen M_1 und M_2 , so schaltet man zunächst die inducirten Rollen alle in den Telephonzweig, und zwar so, dass der Strom in allen dieselbe Richtung hat in Bezug auf den sie inducirenden Strom. Die Zweige 2 und 3 bestehen aus einem ausgespannten Draht, dessen Selbstinduction beliebig klein gemacht und daher vernachlässigt werden kann. Die Stromquelle des Wechselstromes kann beliebig sein. Es wurden dieselben Resultate gefunden mit einer Wechselstrommaschine, einem durch Stimmgabelunterbrecher und einem durch gewöhnlichen Hammer getriebenen Inductionsapparat. Die Gleichungen des Systemes lassen sich dann — unter Be-

1) Ayrton u. Perry, Lum. él. 24. p. 401. 1887.

rücksichtigung aller Inductionen — leicht aufstellen und er-
geben als Bedingung für die Ruhe des Telephons:

$$w_1 w_4 - w_2 w_3 = 0$$

$$w_4 L_1 - (w_3 + w_4)(M_1 + M_2) = w_3 L_2.$$

Bei dieser Anordnung ist es nun möglich, die Messung von Selbstpotentialen und von gegenseitigen Inductionscoefficienten in ganz derselben Weise einzurichten, wie es bei Widerstandsmessungen sich schon lange als vortheilhaft bewährt hat, nämlich durch Construction eines *Inductionskastens*, ganz entsprechend den Widerstandskästen. Man muss dazu nur *ein* bekanntes Selbstpotential und *eine* bekannte gegenseitige Induction haben. Durch passende Wicklung zweier Rollen von bekannten Dimensionen liessen diese sich herstellen und ihre Coefficienten durch Rechnung finden. Dabei sind die von Maxwell herrührenden Formeln für die gegenseitige Induction mit Sicherheit zu benutzen. Die Formeln für die Selbstinduction sind von Rayleigh, Stefan, Weinstein etwas verschieden angegeben und es liefern die verschiedenen Berechnungen nur Werthe, die bis auf 1—2 Proc. übereinstimmen. Auch die Beobachtung nach der Rayleigh-Dorn'schen Methode gibt keine genaueren Werthe, sodass dies vorläufig die Grenze für die Genauigkeit der absoluten Bestimmungen ist. Die Abgleichungen selbst lassen sich mit einer weit grösseren Genauigkeit machen, die höchstens $\frac{1}{10}$ Proc. Unsicherheit gibt. Ist S das bekannte Selbstpotential, G das bekannte gegenseitige Potential, so bringt man zunächst in den Zweig 1 und 2 je einen *Inductor mit variabler Induction*. Am bequemsten bestehen dieselben aus einer kreisförmigen festen Rolle und einer in dieser drehbaren beweglichen Rolle, welche in den Telephonkreis eingeschaltet wird. Der Drehungswinkel wird an einem getheilten Kreise durch Zeiger bis auf $0,1^\circ$ abgelesen. Bei der senkrechten Stellung dieser Rollen ist ihre gegenseitige Induction 0, bei paralleler ein Maximum oder Minimum. Man kann die den verschiedenen Winkeln entsprechenden Inductionen relativ finden, da man nach der obigen Formel irgend eine Drehung des einen Inductors beliebig auf beide Inductoren vertheilen kann und so die Abweichungen der Induction von der Proportionalität mit der

Winkeldrehung gradweise bestimmen kann. Ist α die gegenseitige Induction, welche einem Grad der Inductoren entspricht, sind ferner P_1 und P_2 die Selbstpotentiale der beiden Inductoren, so macht man drei Messungen, indem man 1. in 1 und 2 nur je einen Inductor, 2. in 2 etwa noch S und 3. in 2 S und G einschaltet. Sind n_1, n_2, n_3 die Summen der Winkeldrehungen der Inductoren und wird das Verhältniss w_3/w_4 in den drei Fällen mit $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ bezeichnet, wobei $\gamma_3 = \gamma_2$ ist, so hat man folgende Gleichungen:

$$P_1 - (1 + \gamma_1) n_1 \alpha = \gamma_1 P_2$$

$$P_1 - (1 + \gamma_2) n_2 \alpha = \gamma_2 (P_2 + S)$$

$$P_1 - (1 + \gamma_2) (n_3 \alpha + G) = \gamma_2 (P_2 + S),$$

aus welchen P_1, P_2 und α ein- für allemal absolut ermittelt werden. Es sind das die Constanten des Apparates. Die Messung irgend eines anderen Selbstpotentials x ergibt sich dann sofort, indem man in den Zweig 1 etwa einen Inductor, in den Zweig 2 den anderen Inductor und x einschaltet. Ist γ das Widerstandsverhältniss w_3/w_4 , n die Winkeldrehung der Inductoren, so ist

$$P_1 - (1 + \gamma) \alpha n = \gamma (P_2 + x).$$

Ebenso wird eine gegenseitige Induction y gemessen durch

$$P_1 - (1 + \gamma) (\alpha n + y) = \gamma (P_2 + x).$$

So kann man von Rollen jeder Art durch einfache Messungen die Inductionscoefficienten in Centimetern oder Erdquadranten bestimmen und hat so die Möglichkeit, Rollen von abgemessenen Selbstpotential herzustellen und sie in derselben Weise anzuordnen, wie die Widerstandsrollen eines Widerstandskastens. Ein solcher Inductionskasten wird am besten so construirt, dass zwei Rollen von gleichem Widerstand immer nebeneinander stehen, von denen die eine biflar gewickelt ist und geringe, die andere uniflar gewickelt ist und grosse Selbstinduction besitzt. Durch gleichzeitiges Einschalten der einen Rolle auf die eine Seite, der anderen auf die andere Seite der Brücke kann man die Selbstinduction bedeutend ändern, ohne das Widerstandsverhältniss wesentlich zu alteriren und so stets die grösste Empfindlichkeit der Einstellungen erzielen. Vorausgesetzt ist dabei, dass die biflar

gewickelten Rollen keine merkbare Capacität besitzen. Das ist bei kleineren Rollen an sich der Fall, bei grösseren tritt zweckmässig die Chaperon'sche Wickelung ein, welche, wie auch F. Kohlrausch¹⁾ bemerkt hat, vorzügliche Resultate gibt. Die Herstellung eines solchen Inductionskastens ist im physikalischen Institut der Universität von Hrn. Andriessen ausgeführt. Darüber, wie über die Construction der von Edelmann ausgeführten Inductoren wird von ihm berichtet werden.

München, Physik. Inst. der Univ., Juli 1893.

1) F. Kohlrausch, Wied. Ann. **49**. p. 233. 1893.