8. *Einheitsrollen der Selbstinduction;* *von Max Wien.*

Normaleinheiten der Selbstinduction müssen denselben Anforderungen genügen wie Normaleinheiten des Widerstandes: vor allem muss der *absolute Werth* des Selbstpotentials genau bekannt sein, ferner darf dieser Werth sich mit *Zeit* und *Temperatur* nicht merklich ändern, und schliesslich muss die äussere *Form handlich* sein.

Von den im Folgenden zu beschreibenden Einheitsrollen hoffe ich, dass sie diesen Anforderungen Genüge leisten.

In Fig. 1 ist der axiale Querschnitt der Rollen in halber natürlicher Grösse dargestellt. Die Form ist so gewählt, dass die Selbstinduction bei gegebener Drahtlänge und Dicke ein Maximum ist.¹⁾ Dabei hat man die Vortheile geringen Widerstandes, kleiner Dimensionen und schwacher Kraftlinienstreuung. Die Rollen sind auf Serpentin gewickelt, weil man bei Holz und ähnlichem Material nicht vor nachträglicher Gestaltsänderung sicher ist. Metall ist wegen der Foucault'schen Ströme ausgeschlossen.

Fig. 1.

Die Herstellung der Rollen geschah in der Weise, dass, nachdem die angenäherte Anzahl der Windungen für die betreffende Einheit im voraus berechnet war, etwas mehr Kupferdraht, als die Rechnung ergab, auf die Spule gewickelt wurde. Dann wurde durch Vergleich mit bekannten Selbstpotentialen und Abwickeln des Drahtes die Selbstinduction so weit abgeglichen, dass der Sollwerth innerhalb eines Procentes stimmte. Zu diesem Zweck wurde der kürzlich beschriebene Apparat zum Variiren der Selbstinduction²⁾ und die dort angegebenen Me-

1) Maxwell, Electr. und Magn. § 706.

2) M. Wien, Wied. Ann. 57. p. 249. 1896.

thoden benutzt. Darauf wurde die Rolle in Paraffin ausgekocht, sodass das Ganze nach dem Erkalten eine compacte Masse bildete, wobei eine nachträgliche Formänderung ausgeschlossen erschien. Zum Schutz gegen äussere Verletzungen wurde die Wickelung mit einer Lederhülle umgeben.

Schliesslich wurde in sogleich zu beschreibender Art der absolute Werth der Selbstinduction definitiv gemessen.

In dieser Weise wurden drei Einheiten hergestellt mit den Selbstpotentialen 10^6 , 10^7 und 10^8 cm. Die Drahtdicke betrug 1,2, 0,8 und 0,5 mm; die Windungszahl ca. 135, 360, 1280, der Widerstand 0,3, 2,7 und 27 Ohm.

Die Windungszahl schwankte bei den verschiedenen Exemplaren derselben Einheit um einige Procent, da es nicht möglich ist, besonders bei dünnerem Draht, die Wickelung jedesmal genau in derselben Weise auszuführen. Eine Berechnung des Selbstpotentials einer Rolle kann deshalb niemals genau sein, und es ist praktisch nicht rätlich, Einheiten der Selbstinduction dadurch zu definiren, dass man Windungszahl und Wickelungsraum vorschreibt, sondern die Einheiten müssen immer *experimentell* abgeglichen werden.

Um den genauen Werth der Selbstinduction festzustellen, mussten zunächst einige Rollen absolut gemessen werden; der Werth der anderen konnte dann durch Vergleich mit diesen bestimmt werden.

Die absolute Messung geschah für zwei Rollen von 10^7 und 10^8 cm nach einer früher beschriebenen Methode¹⁾ mit Wheatstone'scher Brücke, Wechselstrom und optischem Telephon. Mit Hülfe des erwähnten Apparates zum Variiren der Selbstinduction konnte diese Methode jedoch wesentlich vereinfacht werden.

Der Zweig 1 einer Wheatstone'schen Brückencombination (Fig. 2) besteht aus einer Rolle mit dem Selbstpotential p_1 und dem Widerstand w_a . Der Rolle parallel ge-

Fig. 2.

1) M. Wien, Wied. Ann. 44. p. 701. 1891.

schaltet ist ein inductionsfreier Widerstand w_β , der Zweig 2 besteht aus dem Widerstand w_2 und dem Selbstpotential p_2 . Die Zweige 3 und 4 sind inductionsfrei und gleich ($w_3 = w_4$).

Ein Sinusstrom von n Schwingungen in 2π Secunden verschwindet im Brückenweig, wenn die Widerstandsoperatoren a_1 und a_2 der Zweige 1 und 2 gleich sind.

Es ist

$$a_1 = \frac{(w_\alpha + i n p_1) w_\beta}{w_\alpha + w_\beta + i n p_1} \quad a_2 = w_2 + i n p_2.$$

Die Gleichung $a_1 - a_2 = 0$ gibt:

$$(w_\alpha + i n p_1) w_\beta - (w_2 + i n p_2)(w_\alpha + w_\beta + i n p_1) = 0.$$

Indem man den reellen und den imaginären Theil für sich gleich Null setzt, erhält man die beiden Bedingungsgleichungen:

$$w_\alpha w_\beta + n^2 p_1 p_2 = w_2 (w_\alpha + w_\beta), \quad p_1 (w_\beta - w_2) = p_2 (w_\alpha - w_\beta)$$

und hieraus

$$n^2 p_1^2 = (w_\alpha + w_\beta) \left(\frac{w_\alpha w_\beta}{w_\beta - w_2} - w_\alpha \right),$$

$$n^2 p_2^2 = (w_\beta - w_2) \left(w_2 - \frac{w_\alpha w_\beta}{w_\alpha + w_\beta} \right).$$

Hat man durch Variiren von p_2 und w_2 die Nulleinstellung des optischen Telephons erreicht, und sind n , w_α , w_β , w_2 bekannt, so erhält man aus den obigen Gleichungen p_1 und p_2 .

In w_α und w_β ist der Widerstand der Inductionsrollen, also Kupferdrahtwiderstand, mit enthalten; es ist deshalb wegen der Temperaturfehler sicherer, die Widerstandsmessung unmittelbar an die Einstellung mit Wechselstrom anzuschliessen.

Dies geschieht, indem man nach der Einstellung mit Wechselstrom die Nulleinstellung der Brücke für constanten Strom gesucht wird. Dazu muss w_2 um R verringert werden. Es ist dann:

$$w_2 - \frac{w_\alpha w_\beta}{w_\alpha + w_\beta} = R.$$

Darauf wird der Zweig α geöffnet, sodass der Zweig 1 nur aus w_β besteht. Um den constanten Strom im Brückenweig zum Verschwinden zu bringen, muss nun w_2 um R' vermehrt werden. Dann ist:

$$w_\beta - w_2 = R'.$$

Führen wir R und R' in die obigen Gleichungen ein, so wird:

$$p_1 = \frac{w_\beta^2}{n(R + R')} \cdot \sqrt{\frac{R}{R'}}, \quad p_2 = \frac{\sqrt{R \cdot R'}}{n}.$$

Abgesehen von den Inductionsgesetzen beruht die Methode auf folgenden Voraussetzungen, dass

1. die Widerstände R , R' , w_β ihrem absoluten Werth nach bekannt sind;
2. die Schwingungszahl des Wechselstromes (n) genau bekannt ist;
3. die angewandten Widerstände und Selbstinduction „rein“ sind, d. h. dass die Widerstände inductions- und capacitätsfrei, die Selbstinductionsrollen capacitätsfrei sind.

Die Widerstände w_β , R und R' wurden sämmtlich einem Rheostaten entnommen, der in Siemens eingetheilt war. Die Widerstände desselben waren unter sich verglichen und corrigirt. Die Reduction auf gesetzliche Ohm erfolgte durch Vergleich mit einem Präcisionswiderstand der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt von 100 Ohm. Es ergab sich dabei, dass bei 19,4° C. 106,55 Einheiten des Rheostaten = 100 Ohm waren. Der Werth des Präcisionswiderstandes war von der Reichsanstalt auf 1,5 Zehntausendstel garantirt.

Der Wechselstrom wurde durch ein Inductorium geliefert, dessen primärer Kreis durch einen Saitenunterbrecher ca. 256 bez. 128mal in der Secunde geöffnet und geschlossen wurde. Der Ton (Grundton bez. erster Oberton) der Saite wurde mit einer Stimmgabel in Uebereinstimmung gebracht¹⁾, die 256 Schwingungen in der Secunde machen sollte. Entweder wurde genaues Unisono zwischen Gabel und Saite hergestellt oder die Schwebungen gezählt. Eine Uebereinstimmung auf mindestens $\frac{1}{10}$ Schwebung konnte dabei mit Sicherheit erreicht werden. Es entspricht dies einem Fehler von $\frac{1}{2560}$ oder ca. $4 \cdot 10^{-4}$.

Die Schwingungszahl der Controllgabel wurde durch Vergleich mit einer Präcisionsgabel von Rudolph König in Paris bestimmt. Sie machten bei gleicher Temperatur 11 Schwebungen in 31 Secunden. Beim Erwärmen der Controllgabel

1) Vgl. Wied. Ann. 44. p. 684. 1891.

wurden die Schwebungen langsamer, ihr Ton war also zu hoch. Der Ton der König'schen Gabeln ist bei 20° C. mindestens auf ca. $\frac{1}{10000}$ richtig.¹⁾ Für 1° C. Temperaturerhöhung sinkt die Schwingungszahl um ca. $\frac{1}{9000}$. Bei meinen Versuchen lagen die Temperaturgrenzen zwischen 18,7 und 19,6°, im Mittel also 19,15°. Danach ergibt sich die Schwingungszahl der Controllgabel zu

$$256 + \frac{11}{31} + \frac{256 \cdot 0,85}{9000} = 256,38.$$

Die dritte Voraussetzung ist nicht erfüllt, denn eine Inductionsrolle wirkt stets wie ein Condensator, und bifilare Neusilberwiderstände sind nicht inductions- und capacitätsfrei.

Es ist zu beweisen, dass der Einfluss hiervon auf die folgenden Messungen zu vernachlässigen ist.

Bei bifilaren Widerständen wirken Capacität und Selbstinduction in entgegengesetztem Sinne, sodass sie sich zum Theil aufheben. Bei grösseren Widerständen ist die Capacität, bei kleineren die Selbstinduction vorherrschend. Die Capacität von Inductionsrollen ist um so grösser und wirksamer, je grösser das Selbstpotential der Rolle ist.

Bei der Messung der Einheitsrolle von 10⁸ cm, wo grössere Widerstände in Anwendung kommen, ist demnach zu beweisen, dass die *Capacität* keine merkliche Wirkung ausübt; bei der kleineren Rolle von 10⁷ cm, dass die *Selbstinduction* der verwandten Widerstände keine Fehler verursacht.

Es handelt sich wesentlich um den Zweig 1 des Brückensystems, wo der zu messenden Rolle ein bifilarer Widerstand w_β parallel geschaltet ist. Die Capacität von Rolle c_α und Widerstand c_β addiren sich ($c_\alpha + c_\beta = c$). Es ist demnach zu untersuchen, in welcher Weise das Selbstpotential einer Rolle durch einen parallel geschalteten Condensator der Capacität c beeinflusst wird.

1) Der Herstellungsweise nach (vgl. Wied. Ann. 9. p. 394. 1880) ist der Fehler bei den Gabeln kleiner als $\frac{1}{100000}$, wie mir Hr. Dr. König auch freundlichst brieflich bestätigte. Durch den Resonanzkasten kann jedoch eine Aenderung der Schwingungszahl um ca. $\frac{1}{10000}$ verursacht werden. Die von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt untersuchte König'sche Gabel zeigte mit Resonanzkasten ebenfalls nur einen Fehler von unter $\frac{1}{10000}$. (Vgl. Leman, Ztschr. f. Instrumentenk. 10. p. 170. 1890.) Diese kleinen Differenzen kommen natürlich bei den vorliegenden Messungen nicht in Betracht.

Der Widerstandsoperator eines Zweiges mit parallel geschalteter Capacität ist $= a / (1 + i n a c)$, wenn a der Widerstandsoperator des Zweiges ohne Capacität ist. a ist in unserem Fall $= w_\alpha + i n p_1$. Also der Widerstandsoperator einer Rolle mit Capacität

$$= \frac{w_\alpha + i n p_1}{1 + i n c (w_\alpha + i n p_1)} = \frac{w_\alpha}{1 - 2 n^2 c p_1 + n^2 c^2 (n^2 p_1^2 + w_\alpha^2)} + i n p_1 \cdot \frac{1 - n^2 c p_1 - \frac{c w_\alpha^2}{p_1}}{1 - 2 n^2 c p_1 + n^2 c^2 (n^2 p_1^2 + w_\alpha^2)}$$

Infolge der Capacität erscheint die Selbstinduction mit einem Factor multiplicirt, dessen grösste von c abhängige Glieder $n^2 c p_1$ und $c w_\alpha^2 / p_1$ sind.

Die Capacität der Inductionsrolle ist sehr gering¹⁾, jedenfalls unter 10^{-4} *M. F.* Der parallel geschaltete Widerstand w_β war im Maximum 200 Siemens. Die Capacität einer solchen Widerstandsrolle beträgt etwa $2-3 \cdot 10^{-4}$ *M. F.*²⁾ Nehmen wir also $c = 3 \cdot 10^{-19}$, $p_1 = 10^8$ und $w = 27 \cdot 10^3$, $n = 2 \pi \cdot 256$, so wird $c w_\alpha^2 / p_1 = 8 \cdot 10^{-7}$ und $n^2 c p_1 = 7,5 \cdot 10^{-5}$, beides ist bei den vorliegenden Messungen neben der Einheit zu vernachlässigen.

Für kleinere Rollen und Widerstände ist der durch die Capacität bewirkte Fehler noch viel geringer, jedoch kommt eventuell die Selbstinduction des Widerstandes w_β in Frage. Führen wir diese Selbstinduction (p_β) ein, so ist die Bedingungsgleichung für das Verschwinden eines Sinusstromes im Brückenweig:

$$\frac{(w_\alpha + i n p_\alpha)(w_\beta + i n p_\beta)}{w_\alpha + w_\beta + i n (p_\alpha + p_\beta)} = w_2 + i n p_2.$$

Hieraus nach Trennung der Reellen und Imaginären:

$$w_2 = \frac{w_\alpha w_\beta}{w_\alpha + w_\beta} + \frac{n_2 p_2 p_\alpha - n^2 p_\beta (p_\alpha - p_2)}{w_\alpha + w_\beta}$$

und

$$p_\alpha = \frac{p_2 (w_\alpha - w_\beta)}{w_\beta - w_2} + \frac{p_\beta (w_2 - w_\alpha)}{w_\beta - w_2}.$$

1) Vgl. M. Wien, Wied. Ann. 44. p. 712. 1891.

2) Ueber diesbezügliche Messungen wird in nächster Zeit von anderer Seite berichtet werden.

Diese Gleichungen stimmen mit den obigen (p. 3) überein, falls die p_β enthaltenden Glieder gegen die übrigen zu vernachlässigen sind.

Am ungünstigsten lag der Fall bei einer Messung, wo $w_\beta = 20$ Siemens war. Eine solche bifilare Rolle besitzt bei einem Drahtdurchmesser von 0,6 mm ein Selbstpotential von der Grössenordnung $2,5 \cdot 10^3 \text{ cm.}^1$) Bei der betreffenden Messung war $p_2 = 5 \cdot 10^6 \text{ cm}$, $p_a = 10^7$, $w_a = 3$ Siemens, $w_\beta = 20$ Siemens.

Beim Einsetzen dieser Grössen in die obige Gleichung ergibt sich, dass die Glieder mit p_β bei w_2 nur 2 Zehntausendstel; bei p_a 1,5 Zehntausendstel des Ganzen betragen.

Aus allen diesen Betrachtungen geht hervor, dass die „methodischen“ Fehler bei den folgenden Messungen auch in den ungünstigsten Fällen nur einige Zehntausendstel be-

Fig. 3.

trugen. Uebrigens hätten derartige Fehler auch bei den mit verschiedenen Schwingungszahlen und verschiedenen Widerständen ausgeführten Messungen hervortreten müssen.

Die Versuchsanordnung bei den definitiven Messungen war folgende (vgl. Fig. 3).

Der Zweig 1 der Brücke (AB) bestand aus der zu untersuchenden Rolle p_1 , welche zur Vermeidung gegenseitiger Induction ca. 1 m durch einen bifilaren Draht von der übrigen Brücke entfernt war. Der Rolle parallel war der Rheostatenwiderstand w_β geschaltet, etwa von derselben Grösse, wie der scheinbare Widerstand ($\sqrt{w_a^2 + n^2 p_1^2}$) der Rolle. Im Zweige 2 (BC) befanden sich die übrigen (kleineren) Widerstände der Rheostaten, ferner ein kleiner Platindraht mit Quecksilberschleifcontact (S), der den Widerstand des Zweiges 2 auch noch innerhalb 0,1 Siemens zu variiren gestattete, und schliesslich der Apparat zum Variiren der Selbstinduction (p_2). Zweig 3 (CD) und 4 (DA) bestanden aus je 50 Siemens bifilaren Neusilberwiderstandes.

1) H. F. Weber, Berl. Ber. p. 511. 1886.

Im Brückenweig befand sich ein optisches Telephon. Es wurden zwei Instrumente benutzt, die auf die Schwingungszahlen 256 resp. 128 eingestimmt waren. Bei Anwendung stärkerer Wechselströme waren die Ströme höherer Perioden oft so stark, dass bei dieser Anordnung das Spaltbild nicht ganz scharf wurde, trotzdem der Grundstrom im Brückenweig verschwand.¹⁾ Diesem Uebelstande konnte durch passende inductionsfreie Nebenschlüsse zur Unterbrechungstelle im primären Kreis des Inductoriums und zum optischen Telephon abgeholfen werden, wodurch die Ströme höherer Perioden geschwächt wurden.

Der Gang eines Versuchs war folgender: Zunächst wurde eine angenäherte Einstellung gemacht. Darauf wurde die Schwingungszahl des Saitenunterbrechers nochmals mittels der Controllstimmgabel regulirt, resp. die Schwebungen gezählt und dann die definitive Einstellung gemacht. Sofort danach wurden wieder die Schwebungen controllirt.

Der gestöpselte Rheostatenwiderstand r_a des Zweiges 2 wurde abgelesen, mittelst einer Wippe ein constanter Strom in die Brücke geschickt und ein Galvanometer in den Brückenweig gebracht. Durch Aenderung von w_2 wurde dann die Brücke für constanten Strom eingestellt. Da der Rheostat nur bis zu 0,1 Siemens hinunter eingetheilt war, gelang dies nicht vollständig, sondern es mussten die Bruchtheile von 0,1 Siemens durch die Ausschläge des Galvanometers bestimmt werden. Der Rheostatenwiderstand des Zweiges 2 + der aus den Galvanometerausschlägen berechneten Correction war dann $= r_b$. Daraus ergab sich $R = r_a - r_b$. Nun wurde die Rolle p_1 ausgeschaltet, sodass nur w_β im Zweig 1 blieb, und wieder der constante Strom im Brückenweig durch Stöpseln des Rheostaten zum Verschwinden gebracht. Der Rheostatenwiderstand im Zweig 2 war jetzt r_c . Hieraus $R' = r_c - r_a$. p_1 konnte nun aus der obigen Gleichung

$$p_1 = \frac{w_\beta^2}{n(R + R')} \sqrt{\frac{R}{R'}}$$

berechnet werden.

1) Vgl. Wied. Ann. 44. p. 684. 1891.

Die zur Messung nothwendigen drei Widerstände w_β , R und R' waren hiernach drei gestöpselte Widerstände desselben Rheostaten, die unmittelbar hintereinander bestimmt wurden. Es trug dies offenbar viel zur Sicherheit der Messung bei. Als Beispiel sei eine vollständige Versuchsreihe hier mitgetheilt. Die Widerstände sind in Siemens angegeben. Die „corrigirten“ Zahlen enthalten die Correctionen der Widerstände des Rheostaten, wie sie sich beim Vergleich untereinander ergeben hatten:

$$w_\beta = 200 \text{ corr. } 200,15.$$

Der Wechselstrom verschwand im Brückenweig, als im Rheostat gestöpselt waren $r_a = 76,5 \text{ corr. } 76,422$. Die Einstellung für constanten Strom erfolgte für den Rheostatenwiderstand $r_b = 13,6 + 0,049$ (aus den Galvanometerausschlägen berechnet) = corr. 13,634. Also $R = r_a - r_b = 62,788$.

Nach Oeffnung des Zweiges α verschwand der constante Strom für $r_c = 188,24 \text{ corr. } 188,17$, also $R' = r_c - r_a = 188,17 - 76,422 = 111,75$.

Eine zweite Einstellung gab: $r_a = 76,422$, $r_b = 13,560$, $r_c = 188,08$, $R = 62,862$, $R' = 111,66$.

Also als Mittelwerthe beider Einstellungen: $R = 62,825$, $R' = 111,71$. Hieraus:

$$p_1 = \frac{200,15^2 \cdot \sqrt{\frac{62,825}{111,71}}}{2 \pi \cdot 256,38 \cdot 1,0656 \cdot 174,53} = 1,0027 \cdot 10^8 \text{ cm.}$$

In dieser Weise wurden für die Schwingungszahlen 256 und 128 je 2 Messungen bei zwei verschiedenen w_β gemacht, so dass für jede Rolle 4 Werthe erhalten wurden. Die folgende Tabelle giebt die Resultate: Die Widerstände sind in corrigirten Rheostatenwiderständen angegeben. Zur Reduction auf Ohm müssen dieselben durch 1,0656 bei 19° C. dividirt werden.

N	w_β	R	10^8		
			R'	p_1	Δ
256,38	200,15	62,82	111,71	1,0027	0,00095
256,38	100,—	49,28	27,979	1,0008	0,00095
129,18	100,—	23,826	53,305	1,0023	0,00055
129,20	39,950	13,955	8,996	1,0012	0,00055

Mittel $(1,00175 \pm 0,00029) \cdot 10^8$

N	w_β	10^7		p_1	Δ
		R	R'		
256,38	9,994	4,784	2,842	0,9900	0,00127
256,38	19,983	6,106	11,196	0,9928	0,00153
128,89	6,983	2,018	2,814	0,9908	0,00097
128,89	9,994	2,280	5,342	0,9920	0,00073
Mittel (0,99127 $\pm$ 0,00045) 10^7					

Da nach Obigem principielle Fehler nicht in Betracht kommen, so giebt der wahrscheinliche Fehler der Beobachtungen gleichzeitig den wahrscheinlichen Fehler bei der Bestimmung des wahren Werthes der Selbstinduction.

Hiernach glaube ich den absoluten Werth des Selbstpotentials der Einheitsrollen auf mindestens 1 pro mille garantiren zu können.

Der Vergleich zweier Selbstpotentiale nach der Maxwell'schen Methode ist sehr viel einfacher und sicherer, wie die absolute Messung, weil man dabei weder die Tonhöhe noch die absoluten Werthe der Widerstände, sondern nur das Verhältniss w_3/w_4 zu kennen braucht. Ein Fehler von über $1/10000$ erscheint dabei ausgeschlossen.

Der Vergleich der Rolle 10^8 mit der Rolle 10^7 ergab 10,1039 während das Verhältniss der direct gemessenen Werte

$$= \frac{10^8 \cdot 1,00175}{10^7 \cdot 0,99127} = 10,1048$$

ist. Die Differenz liegt durchaus innerhalb der Beobachtungsfehler, und ist ein Beweis mehr für die Sicherheit der absoluten Messung. Eine Wiederholung des Vergleichs nach 3 Monaten ergab 10,1042, so dass keine zeitliche Aenderung zu constatiren war.

Eine Temperaturerniedrigung der Rolle 10^7 um 15° C. bewirkte eine Verkleinerung ihres Selbstpotentials um 2—3 Zehntausendstel, wie es etwa dem linearen Ausdehnungscoefficienten des Kupfers entspricht.

Das Selbstpotential der Rollen ist demnach als merklich unabhängig von Zeit und Temperatur zu betrachten.

Die Einheitsrolle von 10^6 cm wurde durch Vergleich mit der Rolle 10^7 abgeglichen, weil bei directer absoluter Messung die genaue Bestimmung sehr kleiner Widerstände erforderlich gewesen wäre, was immer misslich ist.

Nach Fertigstellung dieser ersten 3 Einheitsrollen waren weitere Exemplare durch Vergleich mit diesen sehr leicht her-

zustellen. Das Brückensystem konnte zu diesem Zweck vollkommen symmetrisch eingerichtet, und das Hörtelephon dabei als Messinstrument verwandt werden.¹⁾

Das Selbstpotential der Einheitsrollen konnte nun auch viel genauer mit dem Sollwerth in Uebereinstimmung gebracht werden, als es bei den ersten Rollen möglich war. So besitzen die für das hiesige Institut gelieferten Exemplare die Selbstpotentiale:

$(1 - 0,0002) \cdot 10^6$, $(1 - 0,0005) 10^7$, $(1 + 0,0005) 10^8$ cm.

Die Differenz zwischen dem wahren Werth und dem Sollwerth übersteigt somit kaum die Grenzen der Beobachtungsfehler.²⁾

Würzburg, Physik. Institut der Univ., März 1896.

1) Bei voller Symmetrie der Brücke gelingt es nämlich, den Ton des Hörtelephons völlig zum Verschwinden zu bringen und dann ist die Einstellung leicht und sicher. Bei unsymmetrischer Brücke, z. B. beim Vergleich der Rollen 10^6 und 10^7 , ist das Minimum im Hörtelephon meistens infolge von Dispersion der hohen Obertöne schlecht, und man wendet hierbei besser das optische Telephon an.

2) Die Einheitsrollen wurden von dem Mechaniker Hrn. Siedentopf hier hergestellt und sind von demselben zum Preise von ca. 10 $\mathcal{M}$ zu beziehen.