

VI. Ueber Widerstandsmessungen mit Hülfe des Telephons; von Max Wien.

(Hierzu Tafel VIII Fig. 7—11.)

In einer früheren Arbeit¹⁾ habe ich einige Bemerkungen darüber gemacht, dass in gewissen Fällen die Brückeneinstellungen mit dem Hörtelephon bedenklich seien und zu Fehlern Veranlassung geben könnten.

Hr. A. Elsas²⁾ hat diese Bemerkungen durch Versuche zu entkräften versucht, welche mit dem Differentialinductor³⁾ angestellt wurden; ich sehe mich deshalb genöthigt, mich nochmals etwas eingehender mit dieser Frage zu beschäftigen.

Bei den meisten Einstellungen mit dem Hörtelephon erreicht man nicht ein vollständiges Verschwinden des Tones, sondern nur ein Minimum. Der Grund dieser Erscheinung ist, dass neue electromotorische Kräfte in einem der Zweige auftreten, die durch Selbstinduction oder gegenseitige Induction, Capacität oder Polarisirung verursacht sind.

Die Fragen, um die es sich handelt, sind folgende:

1. Fällt dieses Minimum mit dem gesuchten Nullpunkte (bei der Brücke $w_1 w_4 = w_2 w_3$) zusammen?
2. Ist dieses nicht der Fall, wie hängt die Lage des Minimums von der Periode des Stromes ab?
3. Welchen Einfluss haben die Obertöne, welche, wenn man ein Inductorium als Stromquelle benutzt, immer im Telephonklange vorhanden sind (vgl. unten p. 637), auf die Minimumeinstellung?

Die Fragen sollen zuerst theoretisch behandelt werden. Ein Sinusstrom mit n Schwingungen in 2π Secunden gehe durch

1) M. Wien, Wied. Ann. **42**. p. 615—617. 1891.

2) A. Elsas, Wied. Ann. **44**. p. 666. 1891.

3) A. Elsas, Wied. Ann. **35**. p. 828. 1888; **42**. p. 165. 1891.

die Wheatstone'sche Brücke (Taf. VIII, Fig. 7). Dann ist die Stromamplitude im Brückenzweige in der Nähe des Nullpunktes¹⁾:

$$\alpha \text{ proportional Mod } (a_1 a_4 - a_2 a_3),$$

worin a_1, a_2, a_3, a_4 die Widerstandsoperatoren der Zweige 1, 2, 3, 4 der Brücke sind.

Der Zweig 1 enthalte die merkliche Selbstinduction p , dann ist

$$\alpha^2 \text{ prop. } (w_1 w_4 - w_2 w_3)^2 + n^2 p^2 w_4^2,$$

oder, wenn man δ , die Abweichung des Schleifcontactes vom Nullpunkt einführt:

$$\alpha^2 \text{ prop. } \delta^2 (w_1 + w_2)^2 + n^2 p^2 (w_4 - \delta)^2.$$

Indem wir $\partial \alpha^2 / \partial \delta = 0$ setzen, erhalten wir die Abweichung δ_1 des Minimums vom Nullpunkt:

$$\frac{\delta_1}{w_4} = \left(\frac{n p}{w_1 + w_2} \right)^2,$$

oder der Einfachheit halber $\delta_1 / w_4 = \Delta$ und $w_1 = w_2 = w$

$$\Delta = \left(\frac{n p}{2 w} \right)^2.$$

Analog, wenn im Zweig 1 ein Condensator mit der Capacität C || geschaltet ist:

$$\Delta = - \left(\frac{n C w}{2} \right)^2.$$

Bei einer Flüssigkeitsstelle, deren Electroden die Capacität c haben:

$$\Delta = \left(\frac{1}{2 n c w} \right)^2.$$

Die Intensität im Minimum α_1^2 ist, solange Δ klein, proportional Δ .

Es folgt hieraus, dass bei der Wheatstone'schen Brücke Minimum und Nullpunkt nicht zusammenfallen, sondern um Δ voneinander abweichen. Wir haben es hier also mit einem „methodischen“ Fehler zu thun, neben dem zufälligen „Einstellungs“fehler, der hier deshalb erheblich ist, weil man auf ein Minimum schlecht einstellen kann. Dieser Einstellungs-

4) In betreff der folgenden Formeln vgl. M. Wien, l. c. p. 603—606 und Wied. Ann. 44. p. 690—693. 1891.

fehler wird um so grösser, je grösser der methodische Fehler Δ ist, da, wie gesagt, die Intensität im Minimum mit Δ wächst, und damit das Minimum weniger deutlich wird. Zwischen den beiden Fehlern ist im Folgenden scharf zu unterscheiden. Δ ist ferner von der Periode abhängig, und zwar ist es bei Selbstinduction und \parallel geschalteter Capacität proportional n^2 , bei Flüssigkeitswiderständen proportional $1/n^2$.

Damit sind die beiden ersten Fragen für die *Wheatstone'sche Brücke* erledigt, für welche auch meine früheren Formeln und Versuche allein gelten.

Anders liegt die Sache bei dem *Differentialinductor*, mit dem die Versuche des Hrn. Elsas ausgeführt wurden.

Derselbe besteht aus einer primären Rolle und zwei ganz gleichen secundären. Diese beiden letzteren sind, wie aus Fig. 8 ersichtlich, mit dem zu messenden (1) und dem Vergleichswiderstand (2) verbunden. Wenn, wie vorausgesetzt, die inducirte electromotorische Kraft in beiden Zweigen dieselbe ist, so ist die Stromamplitude α im Telephonzweig in der Nähe des Nullpunktes:

$$\alpha \text{ prop. Mod. } (a_1 - a_2).$$

Hierin ist (vgl. Fig. 9), indem der Einfachheit halber die gegenseitige Induction nicht berücksichtigt wird:

$$a_1 = W_1 + w_1 + \text{in } (P_1 + p), \quad a_2 = W_2 + w_2 \text{ in } P_2.$$

$W_1 = W_2$, $P_1 = P_2$ Widerstand und Selbstpotential der beiden secundären Rollen. w_1 und w_2 der zu messende und der Vergleichswiderstand; ersterer habe die merkliche Selbstinduction p .

Dann ist:

$$\alpha^2 \text{ prop. } (w_1 - w_2)^2 + n^2 p^2.$$

Offenbar ein Minimum für $w_1 = w_2$, also fällt Minimum und wahrer Nullpunkt zusammen. $\Delta = 0$.

Bei einer \parallel geschalteten Capacität:

$$\alpha^2 \text{ prop. } (w_2 - w_1)^2 + n^2 C^2 w_1^2 w_2^2. \quad \Delta = 0.$$

Bei einem Flüssigkeitswiderstand:

$$\alpha^2 \text{ prop. } (w_1 - w_2)^2 - \frac{1}{n^2 w^2 c^2}. \quad \Delta = 0.$$

Offenbar liegt hierin ein Vorzug des Differentialinductors gegenüber der Brückenmethode.

In den meisten Fällen dürfte indessen infolge der nicht ausgeglichenen electrostatischen Capacität der beiden secundären Rollen¹⁾, infolge gegenseitiger Induction, bei Flüssigkeitswiderständen auch infolge einer Phasendifferenz des Polarisationsstromes²⁾ das Minimum doch etwas verschoben sein, was an einer unsymmetrischen Aenderung der Klangfarbe um das Minimum herum merklich ist. Diese Fälle werden sich experimentell leicht unter die analogen bei der Wheatstone'schen Brücke (vgl. unten p. 631—634) unterordnen lassen, je nachdem der Fehler mit der Schwingungszahl wächst oder abnimmt. Immerhin sind hier die Einflüsse, welche eine Verschiebung des Minimums bewirken, secundärer Natur: die Hauptquelle der methodischen Fehler fällt bei dem Differentialinductor fort. Es ist deshalb durchaus verständlich, weshalb Hr. Elsas diese Fehler, welche sich, wie wir unten sehen werden, in den meisten Fällen überhaupt nur schwer mit Sicherheit experimentell nachweisen lassen, nicht hat bemerken können.

Im Folgenden wende ich mich wieder ausschliesslich der allgemeiner gebräuchlichen Wheatstone'schen Brücke zu, um zu untersuchen, welchen Einfluss experimentell die oben theoretisch berechnete Abweichung des Minimums auf die Widerstandsmessung hat.

Arbeitet man mit einer Stromquelle, die annähernd reine Sinusströme liefert (Sinusinductor oder Wechselstrommaschine) und Hörtelephon, so verläuft das Experiment genau nach den obigen Formeln: das Minimum erscheint verschoben; jedoch ist auch bei starker Selbstinduction etc. eine Einstellung noch immer möglich, obgleich mit Δ auch die Tonintensität im Minimum wächst und dadurch die Einstellung ungenau wird. So erhielten Bouty und Foussereau³⁾, die mit einer Wechsel-

1) Dieselbe ist auch von Hrn. Elsas selbst störend empfunden. l. c. p. 168.

2) Auf die Wirkung dieser Phasendifferenz habe ich schon früher hingewiesen l. c. 1. p. 618. Ich hoffe darüber bald näheres bringen zu können.

3) Bouty u. Foussereau, Joun. de phys. (2) 4. p. 419. 1888.

strommaschine arbeiteten, bei grossen Neusilberwiderständen, welche wohl nicht sehr sorgfältig gewickelt waren, Abweichungen bis zu 20 Proc. vom Nullpunkt. In einer früheren Arbeit¹⁾ habe ich diese Differenz zwischen Nullpunkt und Minimum benutzt, um mit Hülfe des optischen Telephons Selbstpotentiale von Rollen zu bestimmen. In bezug auf bifilar gewickelte Neusilberwiderstände erwähne ich noch, dass ich bei den damals benutzten Rheostaten von Hartmann & Braun und von Siemens & Halske bei Widerständen bis zu 1000 Ohm keinen merklichen Einfluss von Selbstinduction oder Capacität auf den Strom von 256 Schwingungen per Secunde habe feststellen können.

Im allgemeinen wird jedoch nicht ein Sinusstrom, sondern der Strom eines Inductoriums angewendet, dessen primäre Leitung durch einen akustischen Stromunterbrecher geöffnet und geschlossen wird.

Der Strom eines Inductoriums lässt sich als eine Summe von Sinusströmen darstellen:

$$a_1 \sin nt + a_2 \sin 2nt + a_3 \sin 3nt \dots$$

Jeder von diesen Sinusströmen geht für sich gesondert durch das System und ist im Telephon als Oberton hörbar. Dazu kommen noch die bei jeder Stromunterbrechung auftretenden, schnell verschwindenden, electrischen Eigenschwingungen des Systems, welche Lenard²⁾ als das „Telephongeräusch“ bezeichnet und deren Schwingungszahl sehr hoch ist. — Ich komme hiermit zu der dritten Frage: Welchen Einfluss haben die *Obertöne* auf die Einstellung mit dem Hörtelephon?

Im allgemeinen sind die Amplituden dieser höheren Schwingungen viel kleiner als die des Grundstromes. Ihre Stärke hängt von dem Widerstande und den Inductionscoefficienten des Inductoriums und der Brückenverzweigung ab, ferner auch von der Art und Weise der Unterbrechung (Contact, Nebenschluss).

Hingegen ist das Hörtelephon empfindlicher für höhere Töne, theils wegen der hohen Eigentöne der Platte, theils aus

1) l. c. 1. p. 605—610.

2) Lenard, Wied. Ann. 39. p. 619. 1890.

theoretischen Gründen.¹⁾ Ebenso ist auch das menschliche Ohr für höhere Töne empfindlicher, wie für tiefere.

Infolgedessen sind die Obertöne noch immer stark genug, um die Einstellung zu beeinflussen. Ich habe mich davon überzeugt, indem ich mit verschiedenen Inductorien, Unterbrechungsarten, Telephonen arbeitete, schliesslich auch dieselben Einstellungen von verschiedenen Beobachtern machen liess: Die Einstellung hängt erst in zweiter Linie von der relativen Stärke der höheren Ströme zum Grundstrom ab, am meisten jedoch von der Lage der verschiedenen Tonminima zu einander. Die Gründe werden aus dem Folgenden sofort erhellen.

Es sei zunächst ein merkliches *Selbstpotential* oder *geschaltete Capacität* im Zweig 1 der Brücke. Dann ist $A = (np/2w)^2$, resp. $-(nCw/2)^2$ also proportional n^2 (p. 627). Demnach liegt, wenn das Minimum des Grundtones in der Entfernung 1 vom Nullpunkt ist, das des ersten Obertones in der Entfernung 4, des zweiten 9 etc.; ebenso verhalten sich auch ihre relativen Minimalintensitäten.

In der beistehenden Zeichnung (Fig. 10) ist die Abscisse der Brückendraht selbst, die Ordinate die Tonintensität, wobei der Einfachheit halber angenommen ist, dass die Intensität jedes Obertones in dem Strome des Inductoriums ursprünglich gleich der des Grundtones sei, was natürlich nicht der Fall ist.

Die Minima des Grundtones und der tieferen Obertöne liegen dicht bei einander in der Nähe des Nullpunktes, die der höheren in grösseren Abständen und sie sind weniger ausgeprägt; es folgt daraus, dass die Einstellung auf das *Minimum des Grundtones* geschieht, nur durch die benachbarten Minima der tieferen Obertöne ein wenig verschoben.

Die höheren Obertöne erscheinen hier hauptsächlich als störendes Nebengeräusch, welches sich gleichmässig über das ganze Minimum des Grundtones ausdehnt. Da, wie gesagt, die Intensität der Töne im Minimum proportional n^2 zunimmt, so ist dieses Geräusch schon bei sehr kleiner Selbstinduction oder Capacität so stark, dass die Einstellung sehr schwierig wird. Bei kleinen Widerständen genügt hierzu schon die Selbstinduction der geraden Verbindungsdrähte. Bei grösseren bifi-

1) Helmholtz, Wiss. Abh. 1. p. 474.

laren Neusilberwiderständen macht sich die electrostatische Capacität bemerklich. So erhielt Hr. Elsas¹⁾ bei Widerständen über 500 Siemens ein schlechtes Minimum. Bedeutend erschwert wurde die Einstellung noch, als er zu 1000 S. einen Kohlrausch'schen Condensator || schaltete, dessen Platten 1 cm auseinanderstanden. Bei einem Plattendurchmesser von 15 cm bedeutet dies eine Capacität von ca. $1,5 \cdot 10^{-20} \text{ cm}^{-1} \text{ sec}^2$ (electr. mag.). Nach unserer Formel α^2 proportional $(w_1 - w_2)^2 + n^2 C^2 w_1^2 w_2^2$ (p. 628) würde diese Capacität für den angewandten Grundton (ca. 100 Unterbrechungen pro Sec.) einen ebenso grossen Strom verursachen wie eine Widerstandsänderung um ca. ein Hunderttausendstel sich also gänzlich der Beobachtung entziehen. Man kann hieraus einen Schluss auf die Schwingungszahl der wirksamen Töne ziehen, welche etwa von der Ordnung 5000 sein muss.

Sobald die Selbstinduction oder Capacität irgend grösser wird, so ist eine Einstellung überhaupt ausgeschlossen; solange eine solche noch möglich, ist daher die Verschiebung des Grundtonminimums sehr klein, und da hier auf dieses eingestellt wird, so ist auch der methodische Fehler sehr klein, jedenfalls verschwindend neben dem Einstellungsfehler.

Gegen die Anwendung des Hörtelephons für Messung metallischer Widerstände lässt sich somit nur einwenden, dass der Einstellungsfehler infolge schlechten Minimums leicht sehr gross wird. Derselbe ist übrigens, wie schon mehrfach vorgeschlagen, leicht zu umgehen, indem man einen constanten Strom durch das System schickt und den Brückenweig unterbricht, entweder auch akustisch oder besser mit der Hand, mit Hilfe eines Quecksilbercontactes. Eine Genauigkeit von $\frac{1}{10}$ Proc. ist hierbei meist leicht zu erzielen und man ist unabhängig von Selbstinduction und Capacität.

Die Wechselstrommethode kommt eigentlich praktisch nur bei der Messung von *Flüssigkeitswiderständen* in Betracht. Der Fehler ist hier: $\Delta = (1/(2ncw))^2$, also umgekehrt proportional n^2 . Der Grundton liegt am weitesten vom Nullpunkt entfernt und die Minimalintensität desselben ist die grösste. Je höher die Obertöne sind, desto näher fallen sie einander und dem Null-

1) Elsas, l. c. p. 674.

punkt (Fig. 11). In demselben Verhältnisse sinkt ihre Minimalintensität, sodass dieselbe leicht unter der Reizschwelle liegen kann. Die Einstellung erfolgt wesentlich auf das *Minimum der höheren Töne*¹⁾, wo eine scharf markirte Aenderung der Klangfarbe eintritt, dadurch, dass ein grosser Theil der höheren Obertöne nahezu gleichzeitig ausfällt, resp. wieder auftritt. Der Grundton und die tieferen Obertöne erscheinen hier als störendes Nebengeräusch, welches sich über das Minimum der höheren Töne lagert.

Man kann die ganze Erscheinung sowohl mit dem Ohre heraushören, indem man die Aenderung der Klangfarbe um das Minimum herum beobachtet, wie auch direct messend verfolgen, indem man die Einstellung mit dem Hörtelephon mit derjenigen des optischen Telephons (Minimum des Grundtones) vergleicht: es ergibt sich immer eine messbare Differenz je nach der Grösse der Polarisation. Damit das Minimum des Hörtelephons einigermaassen scharf hervortritt, darf die Polarisation nur sehr schwach sein; ich wandte zu den folgenden Versuchen ein Kohlrausch'sches Widerstandsgefäss mit ca. 35 qcm grossen, gut platinirten Electroden an bei einem Flüssigkeitswiderstande von ca. 50 Ohm und einer Schwingungszahl des Grundtones von 256 pro Secunde. Die Differenz zwischen den beiden Einstellungen betrug nur ca. 0,1 Proc. Jedoch wächst dieselbe sehr schnell mit der Schwingungsdauer des Grundtones und der Polarisation.

Da hier auf das Minimum der höheren Töne eingestellt wird, so ist es für die Schärfe der Einstellung vortheilhaft, wenn die höheren Töne möglichst stark im Verhältniss zum Grundtone sind. Ostwald²⁾ hat dies experimentell beobachtet und räth, ein Inductorium anzuwenden, dessen Strom möglichst von der Sinusform abweicht (Entfernung der Messinghülse um den Eisendrahtkern).

Die Minima der höheren Töne rücken dem Nullpunkt immer näher (Fig. 11), in folgedessen ist der durch die Polarisation selbst hervorgerufene Fehler verschwindend. Hingegen

1) Es gilt dies nur bei Anwesenheit von Polarisation und ist auch in meiner früheren Arbeit nur für diesen Fall behauptet worden.

2) Ostwald, Ztschr. f. phys. Chem. 2. p. 561.

ist es gefährlich, wenn gleichzeitig in einem der vier Zweige Selbstinduction oder || geschaltete Capacität vorhanden ist, da dadurch die Minima der höheren Töne auseinandergerissen werden. $\Delta = (np/2w)^2$, resp. $-(nCw/2)^2$; wegen der hohen Schwingungszahlen genügen hierzu schon kleine p und C . Die Folgen davon sind: ein verwaschenes Minimum und damit ein grosser Einstellungsfehler, und ferner auch methodische Fehler.

Es ist hierbei zu unterscheiden, ob die Selbstinduction in den Zweigen 1 und 4 oder in den Zweigen 2 und 3 der Brücke auftritt (vgl. Fig. 7, die Flüssigkeitszelle ist immer im Zweig 1 vorausgesetzt). Im ersten Falle werden die Minima der höheren Töne nach der Seite des Minimums des Grundtones hin verschoben in (Fig. 11 nach rechts). Es treten also die in Fig. 10 und 11 dargestellten Erscheinungen gleichzeitig auf. Der Flüssigkeitswiderstand erscheint hier offenbar zu gross. Bei kleiner Selbstinduction ist die Einstellung noch scharf, ja sie kann sogar unter Umständen schärfer sein, wie ohne Selbstinduction¹⁾, da die Minima mehr auf einem Haufen liegen. Bei irgend grösserer Selbstinduction z. B. der, welche genügt, um die Polarisation für den Grundton zu compensiren²⁾, ist keine Einstellung mehr möglich.

In dem anderen Falle Selbstinduction im Zweig 2 oder 3 werden die Minima der höheren Töne über den Nullpunkt hinaus verschoben (Fig. 11 nach links). Dadurch wird das Gesamtminimum ein sehr breites und der Einstellungsfehler sehr gross. Die Einstellung kann überall innerhalb desselben erfolgen. Wer, wie ich, sich mit der Zeit daran gewöhnt hat, das Minimum der höheren Töne aufzusuchen, dürfte meist über den Nullpunkt hinaus einstellen. Der Flüssigkeitswiderstand erscheint dann zu klein. Die Einstellung ist hier abhängig von der Person des Beobachters und von der Zusammensetzung des Inductionsstromes, also von der Reinheit der Quecksilberoberfläche des Unterbrechers etc. Dieser Fall vor allem ist bei der Messung von Flüssigkeitswiderständen zu vermeiden. Es ist zu diesem Zwecke anzurathen, von vornherein im Zweig 1 eine kleine Drahtrolle anzubringen, um die eventuell im Zweig 2

1) Wietlisbach, Berl. Monatsber. 1879. p. 278; Fink, Wied. Ann. 26. p. 492. 1885.

2) M. Wien, l. c. 1. p. 613—614.

oder 3 vorhandene Selbstinduction zu compensiren.¹⁾ Es genügt zu diesem Zwecke ein in 10—20 Windungen um ein dickes Reagenzglas gewickelter Kupferdraht, worin man einen Eisenkern verschieben kann, um das Selbstpotential variabel zu machen.

Sehr hervortretend ist die verschiedene *Klangfarbe*¹⁾ um das Minimum herum in den beiden eben charakterisirten Fällen; man kann dieselbe leicht beobachten, indem man ein kleines Selbstpotential in den Zweig 3, resp. 4 einschaltet. Die Selbstinduction der Kohlrausch'schen Brückenwalze genügt vollkommen zu diesem Zweck: Die Einstellung ist immer leichter, wenn man in der ersten Hälfte der Walze einstellt (Mehrzahl der Windungen im Zweig 4), als wenn man sich im letzten Theile derselben befindet (Mehrzahl der Windungen im Zweig 3).

Um bei Untersuchung dieser Frage immer unter denselben Widerstandsverhältnissen zu arbeiten, traf ich folgende Anordnung: Der Flüssigkeitswiderstand und der Vergleichswiderstand wurden einander ungefähr gleich gemacht. Die Walze (ca. 13 Ohm Widerstand) befand sich das eine mal im Zweig 4; 12 Ohm inductionsfreier Rheostatenwiderstand im Zweig 3 das Minimum lag also an dem einen Ende des Walzendrahtes (Fall 1).

Fall 2. Walze im Zweig 3, 12 Ohm im Zweig 4.

Fall 3. Walze zur Hälfte im Zweig 3, zur Hälfte im Zweig 4, 6 Ohm auf beiden Seiten zugeschaltet (hier compensiren sich die beiden Selbstpotentiale in den beiden Zweigen).²⁾

Obgleich das Selbstpotential der Brückenwalze im Vergleich zu ihrem Widerstande sehr gering ist (ca. 10^4 cm), so dass dasselbe auf den Grundton nur einen eben merklichen Einfluss ausübt, so ist die Wirkung auf die hohen Töne doch eine so markante, dass die Verschiedenheit der Klangfarbe um das Minimum in den drei Fällen sofort allen Beobachtern auffiel. Besonders klagten dieselben, wie nach Obigem zu er-

1) Es ist bei diesen Versuchen unerlässlich, dass man dafür sorgt, dass der Verlauf des Inductionsstromes während des Versuches derselbe bleibt, weil sonst schon von selbst eine Aenderung der Klangfarbe eintritt. Deshalb ist statt des unsicheren Federcontactes der Inductoren ein möglichst reiner Quecksilbercontact zu empfehlen, als Unterbrecher eine Stimmgabel oder Saite von nicht zu kleiner Schwingungszahl.

2) Maxwell, Electr. and Magn. 2. § 759.

warten, über ein sehr schlechtes Minimum im Fall 2. Der Einstellungsfehler war hier etwa der fünffache, wie in den anderen Fällen.

Der *methodische Fehler*, welcher hierbei die Verschiebung der Minima der höheren Töne durch die Selbstinduction verursacht, ist deshalb schwierig zu messen, weil er durch den Einstellungsfehler verdeckt wird, der, sowie man die Polarisirung grösser nimmt, auch schnell wächst.

Es gelang in folgender Weise denselben zu beobachten: Die kleine Selbstinduction der Brückenwalze hat auf das optische Telephon, welches nur auf den Grundstrom reagirt, wie gesagt, keinen merklichen Einfluss. Demnach geschahen die Einstellungen mit demselben in den drei obigen Fällen, welche sich nur durch die Lage des Selbstpotentials unterschieden, immer unter den gleichen Verhältnissen und konnten als Fixpunkte angesehen werden. Es ergaben sich in den drei Fällen verschiedene Differenzen mit den Einstellungen des Hörtelephons, also auch Differenzen zwischen den Hörtelephoneinstellungen untereinander, mithin verschiedene Werthe für denselben Flüssigkeitswiderstand. Zwischen den Fällen 1 und 2 betrug die Differenz bei verschiedenen Beobachtern im Mittel mehr als das doppelte des Einstellungsfehlers. Im Fall 2 war, wie gesagt, der Einstellungsfehler so gross, dass die Differenz nicht zahlenmässig festgestellt werden konnte.

Bei grossen Widerständen tritt auch die electromotorische Capacität der bifilaren Neusilberdrahtrollen in Wirksamkeit. Da die Erscheinung durchaus analog ist, so brauche ich sie nicht besonders zu besprechen.

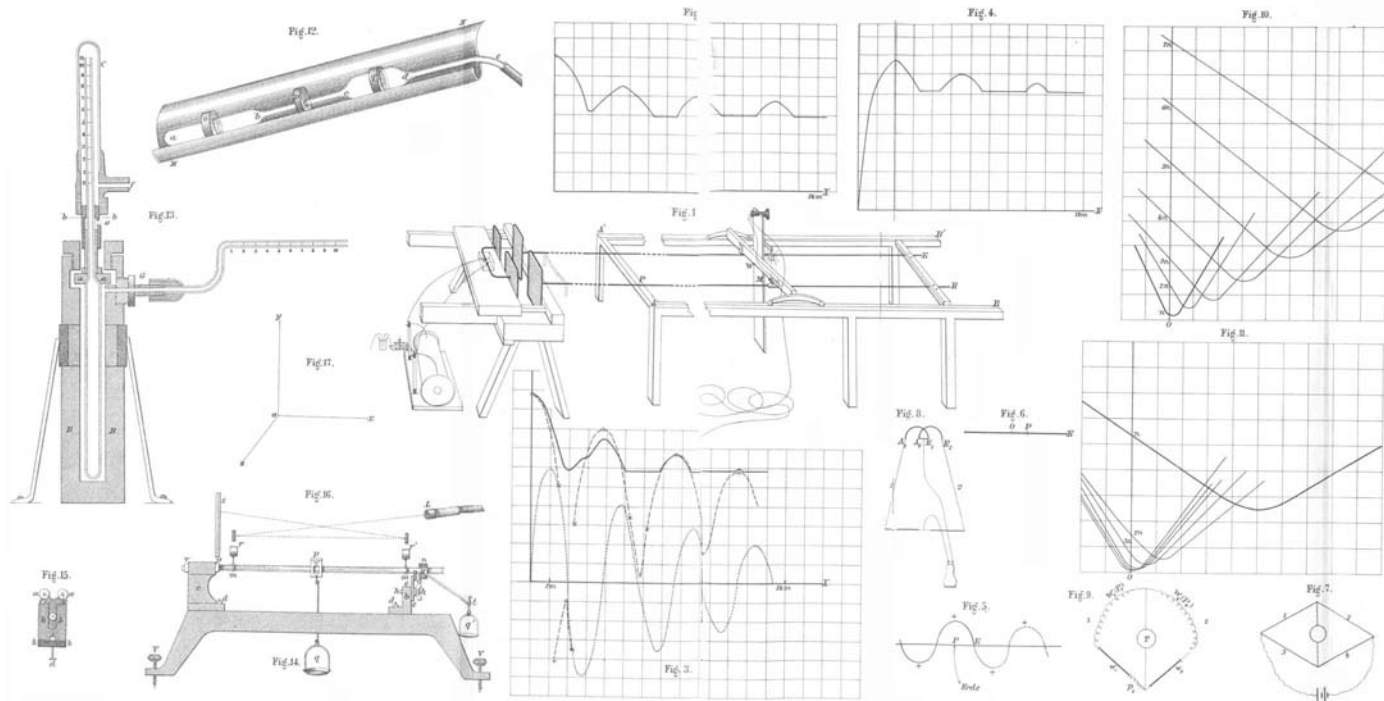
Es soll mit dem Vorstehenden kein Einwand gegen die Kohlrausch'sche Methode zur Messung von Flüssigkeitswiderständen mit Wechselstrom und Hörtelephon erhoben werden; im Gegentheil gestattet die Einstellung auf die hohen Obertöne noch bei verhältnissmässig starker Polarisirung Widerstände zu messen, wo bei Anwendung von Sinusinductor und Dynamometer schon grössere Fehler sich merklich machen würden. Es sollte nur nachgewiesen werden, dass methodische Fehler auftreten *können* und die Art und Weise ihrer Entstehung klar-

gelegt werden. Dieselben sind secundärer Natur und meist klein; in meinem Falle hielten sie sich immer innerhalb 0,1 Proc. Allerdings wachsen sie schnell mit der Schwingungsdauer des Grundstromes und der Stärke der Polarisation. „Bedenklich“ sind dieselben nur deshalb, weil sie schwer zu erkennen und ganz zu vermeiden sind, und sie innerhalb derselben Versuchsreihe, je nach der Beschaffenheit der in den drei anderen Zweigen benutzten Widerstände nach verschiedener Richtung ausfallen können.

Gefährlicher wie bei Widerstandsmessungen ist die Benutzung des Hörtelephons beim Vergleich der Selbstpotentiale von Rollen¹⁾ und der Capacitäten von Condensatoren, worauf ich schon an anderer Stelle¹⁾ hingewiesen habe.

Würzburg, Phys. Inst. d. Univ., Sept. 1892.

2) M. Wien, l. c. 2. p. 710—712.



Birkeland Fig. 1-6. Wien Fig. 7-11. de Metz Fig. 12-17.