VII. *Ueber die Verwendung und Wirkungsweise
des Telephons bei electrischen Nullmethoden;
von A. Winkelmann.*

I. Vor kurzem hat Hr. E. Cohn¹⁾ darauf aufmerksam gemacht, dass eine früher von mir²⁾ angewandte Methode zur Bestimmung von Dielectricitätsconstanten nur dann richtige Resultate liefert, wenn während des Versuches ausser der Einführung der dielectrischen Schicht im ganzen Felde keine Veränderungen vor sich gehen. Diese Bemerkung ist zutreffend, sofern man die Einschränkung hinzufügt, dass unter den schädlichen Veränderungen nur solche zu verstehen sind, die einen Einfluss auf das Tonminimum des Telephons ausüben. Da gerade durch das Tonminimum die Messung ausgeführt wird, so ist unmittelbar einleuchtend, dass alles, was eine Verschiebung des Minimums veranlasst, auszuschliessen ist; ausgenommen ist hiervon natürlich derjenige Körper, der eben der Messung unterworfen werden soll. Dass in der That aber schädliche Veränderungen des Feldes möglich sind, davon habe ich mich bei den damaligen Versuchen mehrfach überzeugt, indem ich absichtlich solche Veränderungen herbeiführte. Bringt man z. B. bei der Minimumstellung des Telephons die Hand sehr nahe (bis auf 1 cm) an eine der beiden äusseren Platten, so hört man deutlich eine Verstärkung des Telephons. Indessen ist die für die Richtigkeit der Resultate erforderliche Bedingung leicht zu erfüllen und wurde bei meinen Versuchen thatsächlich erfüllt. Die Gefahr³⁾, die man etwa in der Methode sehen könnte, ist deshalb nur gering, wie ich mich jetzt von neuem überzeugt habe. Die Anordnung des Apparates war die gleiche, wie bei meinen früheren Versuchen. Die Platten P_1 und P_2

1) Cohn, Wied. Ann. **46.** p. 135. 1892.

2) Winkelmann, Wied. Ann. **38.** p. 161. 1889.

3) Cohn spricht nicht von einer Gefahr, sondern von einem principiellen Fehler, der meiner Methode anhaften soll. Dies scheint mir ungerechtfertigt, weil ein Fehler erst eintritt, wenn eine bestimmte Bedingung nicht erfüllt wird.

wurden nahe an Q so gestellt, dass das Telephon T das Minimum der Tonstärke gab; der Beobachter sass symmetrisch zum Apparat entsprechend dem Orte B . Wurde nun durch einen Gehülfen eine entfernte Platte P_3 von 19 cm Durchmesser, die zur Erde abgeleitet war und parallel P_2 gestellt wurde, der Platte P_2 genähert, so trat eine Verstärkung des Telephons ein, sobald die Platte nahe genug an c_2 herankam; blieb aber P_3 in einer Entfernung von mindestens 12 cm von c_2 , so hatte eine Entfernungsänderung von P_3 auf das Telephon keinen Einfluss. Ferner bewegte sich der Beobachter in B mit dem Oberkörper nach rechts oder links, entsprechend den Pfeilrichtungen a , um einen eventuellen Einfluss auf das Telephon zu constatiren, und endlich machte er ähnliche Bewegungen vorwärts oder rückwärts in den Pfeilrichtungen b ; in beiden Fällen konnte kein Einfluss auf das Telephon nachgewiesen werden. Aus all diesem geht hervor, dass schon beträchtliche Veränderungen in der Nähe des Apparates vor sich gehen müssen, um eine Wirkung

Fig. 1.

auf das Telephon herbeizuführen; vermeidet man aber solche Veränderungen während der Versuchsdauer, so ist das Versuchsergebnis richtig. Die Bemerkung Cohn's, dass jede Veränderung in der Umgebung, z. B. jeder Ortswechsel des Beobachters, zwischen den beiden Theilen des Versuches eine Fehlerquelle bildet, deren Einfluss sich der genauen Berechnung entzieht, ist deshalb nur in beschränkter Weise gültig.

Theoretisch muss ja allerdings jeder Ortswechsel einen Einfluss ausüben, praktisch lässt sich aber dieser Einfluss sehr leicht auf ein solches Minimum zurückführen, dass er gar nicht mehr in Betracht kommt, weil er unmessbar klein ist.

Cohn schlägt entsprechend der Versuchsanordnung Gordon's vor, noch zwei weitere Platten parallel den bisherigen anzubringen und die Verbindungen dieser Platten ebenso wie bei Gordon zu gestalten, nur an Stelle des Electrometers das Telephon treten zu lassen. Bei dieser Anordnung sind die Platten, mit denen das Telephon verbunden ist, im electrischen Sinne fast vollständig von den anderen Platten eingeschlossen und deshalb wird eine ausserhalb des Apparates eintretende Aenderung gar keine oder nur eine minimale Wirkung auf das Telephon haben; indessen ist doch auch hier zu beachten, dass man keinen Einfluss auf die Zuleitungen zum Telephon eintreten lassen darf. Nähert man z. B. die Hand einem Zuleitungsdraht, so ist dies im Telephon deutlich zu bemerken; ganz ausgeschlossen ist also die Gefahr hier auch nicht. Aber auch bei der einfacheren Anordnung mit nur drei Platten ist die Gefahr, unrichtige Versuchsergebnisse zu erhalten, leicht zu vermeiden, und deshalb kann ich in dem Cohn'schen Vorschlage keinen wesentlichen Vortheil erblicken.

II. Cohn hat die Bedingung für das Verstummen des Telephons dahin formulirt, dass beim Spiel des Inductoriums die Potentiale der beiden mit dem Telephon verbundenen Platten einander gleich bleiben müssen, ohne dass ein Austausch von Electricität zwischen ihnen stattfindet. Bezeichnet man die Electricitätsmengen dieser Platten (siehe Fig. 2) mit e_1 , resp. e_2 , so ist nach Cohn:

$$e_1 = c_1(U - V) + \gamma_1(U - V_0)$$

$$e_2 = c_2(U - V) + \gamma_2(U - V_0).$$

Dann wird von Cohn die Bedingung für das Verstummen des Telephons so formulirt¹⁾: „Die Coefficienten c und γ müssen solche Werthe haben, dass bei willkürlichen Aenderungen von

1) Es wird sich später zeigen, dass die beiden Formulierungen Cohn's nicht das Gleiche aussprechen.

V und V_0 die Grössen e_1 und e_2 constant bleiben.“ Man hat deshalb

$$(1) \quad \begin{cases} \frac{d e_1}{d t} = 0 = c_1 \left(\frac{d U}{d t} - \frac{d V}{d t} \right) + \gamma_1 \left(\frac{d U}{d t} - \frac{d V_0}{d t} \right) \\ \frac{d e_2}{d t} = 0 = c_2 \left(\frac{d U}{d t} - \frac{d V}{d t} \right) + \gamma_2 \left(\frac{d U}{d t} - \frac{d V_0}{d t} \right). \end{cases}$$

Hieraus ergibt sich

$$(2) \quad \frac{c_1}{c_2} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2}.$$

Dies ist die Cohn'sche Bedingungsgleichung für das Verstummen des Telephons. Man sieht indess unmittelbar, dass diese Gleichung nicht die ausreichende Bedingung dafür ist, dass die Gleichungen (1) bestehen; dazu ist vielmehr noch erforderlich, dass

$$(3) \quad \begin{cases} \frac{c_1}{\gamma_1} = - \frac{\frac{d U}{d t} - \frac{d V_0}{d t}}{\frac{d U}{d t} - \frac{d V}{d t}}. \end{cases}$$

Hieraus ergibt sich:

a) Für den Fall, dass V und V_0 willkürliche Aenderungen erleiden, die voneinander unabhängig sind, ist die Gleichung (3) unerfüllbar; denn während die linke Seite von (3) constant ist, ist die rechte veränderlich. Wenn deshalb die Analyse Cohn's allgemein richtig wäre, würde das Telephon in dem genannten Falle überhaupt nicht zum Verstummen gebracht werden können.

b) Sind dagegen $d V_0 / d t$ und $d V / d t$ nicht unabhängig voneinander, so kann unter bestimmten Voraussetzungen der Gleichung (3) genügt werden.

Nun weiss man aber, dass bei ganz willkürlichen, voneinander unabhängigen Aenderungen von V und V_0 das Telephon zum Verstummen gebracht werden kann; daraus folgt, dass die von Cohn aufgestellten Bedingungen für das Verstummen des Telephons zu eng gefasst sind. Die erste Bedingung, dass die Potentiale der mit dem Telephon verbundenen Platten zu jeder Zeit einander gleich sein müssen, ist unmittelbar einleuchtend; dagegen ist die zweite Bedingung, dass die Electricitätsmengen

e_1 und e_2 constant seien, nicht nothwendig; vielmehr genügt es, dass die Aenderungen dieser Mengen gleich seien, dass also

$$(4) \quad \frac{de_1}{dt} = \frac{de_2}{dt}$$

sei. Dies ergibt:

$$(5) \quad (c_1 - c_2) \left\{ \frac{dU}{dt} - \frac{dV}{dt} \right\} + (\gamma_1 - \gamma_2) \left\{ \frac{dU}{dt} - \frac{dV_0}{dt} \right\} = 0.$$

Sind jetzt dV/dt und dV_0/dt unabhängig voneinander, so kann (5) nur genügt werden, wenn

$$(6) \quad \begin{cases} c_1 - c_2 = 0 \\ \gamma_1 - \gamma_2 = 0. \end{cases}$$

Sind dagegen dV/dt und dV_0/dt nicht unabhängig voneinander, so ist die Bedingung für das Verstummen des Telephons:

$$(7) \quad \begin{cases} \frac{c_1 - c_2}{\gamma_1 - \gamma_2} = - \frac{\frac{dU}{dt} - \frac{dV_0}{dt}}{\frac{dU}{dt} - \frac{dV}{dt}}. \end{cases}$$

Sind die Gleichungen (6) erfüllt, so ist auch die Cohn'sche Gleichung (2) erfüllt; ist dagegen nur Gleichung (7) erfüllt, so braucht (2) nicht erfüllt zu sein.

Der Vorgang, der sich bei den Versuchen abspielt, ist also im allgemeinen ein anderer, wie der von Cohn hingestellte. Die mit dem Telephon verbundenen Platten haben, wenn das Telephon verstummt, nicht, wie Cohn voraussetzt, eine constante Electricitätsmenge, sondern sie geben in demselben Zeitintervall die gleiche Electricitätsmenge in das Telephon; diese strömenden Mengen compensiren sich aber in ihrer Wirkung auf das Telephon¹⁾; ebenso gehen dann später wieder vom Telephondrahte aus gleiche Mengen Electricität in derselben Zeit auf die Platten über. Thatsächlich finden also fortwährende hin- und herwogende Electricitätsbewegungen von beiden Enden des Telephons aus statt, die beim Ver-

1) Von einer Unsymmetrie, die im Telephon liegt und von der später die Rede ist, ist hier abgesehen.

stommen des Telephons sich gegenseitig in ihrer Wirkung compensiren. Der Beweis hierfür ist in dem folgenden Abschnitte gegeben. Es soll durch das vorige nicht behauptet werden, dass niemals die Grössen e_1 und e_2 constant bleiben können; dies ist aber ein specieller Fall, der nur unter ganz bestimmten Bedingungen auftreten kann und der, was die Hauptsache ist, nicht aufzutreten braucht, damit das Telephon verstumme.

III. A. *Ungeschlossene Inductionsströme.* Beim Spiel des Inductoriums sind die Potentiale der beiden Platten b und d , die mit dem Telephon verbunden sind, abgesehen von einem Specialfall, Functionen der Zeit; soll das Telephon verstummen, so müssen diese beiden Potentiale stets gleich sein. Soll ausserdem keine Bewegung der Electricität in dem Telephondrahte vor sich gehen, sollen also e_1 und e_2 constant sein, so muss das Potential für alle Punkte des Telephondrahtes zu jeder Zeit mit dem Potential der beiden Platten übereinstimmen. Dies letztere wäre nur möglich, wenn entweder das Potential der Platten b und d constant wäre, was der Voraussetzung widerspricht, oder wenn die Potentialänderungen, die die Platten erfahren, sich *vollkommen gleichzeitig* auf alle Theile des Drahtes erstreckten. Dies würde eine unendliche Ausbreitungsgeschwindigkeit der Potentialänderungen voraussetzen und ist deshalb auch zu verwerfen. — Die Veränderungen, welche die Plattenpotentiale mit der Zeit erfahren, bedingen deshalb eine hin- und hergehende Bewegung von Electricität einer jeden Platte in dem Telephondrahte, ohne dass hierbei ein Uebergang der Electricität von einer Platte zur anderen stattfindet.

a) *Differentialtelephon.* Dass in der That eine solche Bewegung der Electricität in einem Drahte, dessen Enden unter sich gleiche, aber mit der Zeit veränderliche Potentiale haben, stattfindet, davon kann man sich am bequemsten mit Hülfe eines Differentialtelephons¹⁾, das zwei

Fig. 2.

1) Ein solches Telephon ist bereits von Chrystal (Beibl. 5. p. 72. 1881) angegeben und zur Bestimmung von Inductionscoefficienten, Capa-

Systeme gleichzeitig gewickelter Windungen besitzt und vier Drahtenden hat, überzeugen. Mögen die beiden Drahtenden, mit denen die Wickelung begonnen wurde, mit A_1 und A_2 , die beiden Enden, die am Schluss der Wickelung übrig bleiben, mit E_1 und E_2 bezeichnet werden. Infolge der nahe symmetrischen Anordnung des Drahtes bleibt das Telephon ruhig, wenn man A_1 mit A_2 verbindet und dann Inductionsströme nicht zu grosser Stärke von E_1 nach E_2 sendet. Der Strom $E_1 A_1$ umkreist den Magneten in entgegengesetzter Richtung wie der Strom $A_2 E_2$; beide compensiren sich. — Verbindet man nun die Enden E_1 und E_2 mit demselben Punkte der Platte b , während A_1 mit A_2 verbunden ist, so hört man beim Spiel des Inductoriums das Telephon sehr deutlich. Hier ist der Beweis dafür gebracht, dass bei einem Drahte auch dann, wenn die Enden desselben zu gleichen Zeiten immer genau gleiche Potentiale besitzen, doch eine hin- und hergehende Bewegung von Electricität im Drahte stattfindet, falls eben die Potentiale der Enden Functionen der Zeit sind. Die beiden Ströme, die von E_1 und E_2 ausgehen, umkreisen das Telephon in gleichem Sinne und verstärken gegenseitig ihre Wirkung. Die Electricität bewegt sich aber nur bis A_1 , resp. A_2 und fliesst dann nach E_1 , resp. E_2 zurück; man hat eben Ladungs- und Entladungsströme in dem Telephondrahte vor sich.

b) *Gewöhnliches Telephon.* Nimmt man statt des Differentialtelephons ein gewöhnliches und verbindet die Enden ebenfalls mit demselben Punkte der Platte, so hört man auch jetzt, wenn auch bedeutend schwächer, das Telephon, sobald das Spiel des Inductoriums beginnt. Daraus geht hervor, dass das gewöhnliche Telephon eine Unsymmetrie enthält. Diese besteht darin, dass die Anfangswindungen eine andere Lage gegenüber dem Magneten haben, wie die Endwindungen und dass ferner die verschiedenen Windungen eine verschiedene Weite besitzen. Der letzte Umstand bewirkt, dass von dem neutralen Punkte aus, der in der Mitte des Drahtes liegt, die Zahl der Windungen nach beiden Seiten nicht gleich ist.¹⁾ Sobald die citäten etc. verwendet. — Das von mir benutzte Differentialtelephon war ebenso wie die benutzten gewöhnlichen Telephone von Siemens & Halske in Berlin hergestellt.

1) Dies trifft nicht zu bei Telephonen mit zwei Polen, die nacheinander umwickelt werden.

Windungen (Anfang und Ende) nicht symmetrisch in Bezug auf das Magnetsystem liegen, können sich die Wirkungen, die von demselben Punkte der Platte b in das Telephon sich ausbreiten, in den beiden Drahthälften nicht vollkommen compensiren. Bei der Verwendung des Telephons zur Bestimmung von Dielectricitätsconstanten nach der angegebenen Methode bedingt dieser Mangel keinen Fehler des Resultates; dagegen folgt aus dieser Unsymmetrie, dass, wenn die vier Platten des Apparates vollkommen symmetrisch zur mittleren Platte c stehen, das Telephon, welches an die Platten b und d gelegt ist, nicht das Tonminimum zeigt, sondern dass erst durch eine kleine Unsymmetrie der Platten die Unsymmetrie des Telephons wenigstens theilweise compensirt werden muss, um das Tonminimum eintreten zu lassen. Dieses übrig bleibende Tonminimum beruht, wie ich glaube, darauf, dass die eine Unsymmetrie durch die andere nicht vollkommen compensirt werden kann.¹⁾ Eine unmittelbare Consequenz des eben Gesagten ist das Folgende. Man verbinde das Telephon mit den Platten b und d und stelle auf das Minimum ein; vertauscht man dann die Telephonenden miteinander, ohne sonst etwas zu ändern, so zeigt das Telephon nicht mehr das Minimum, sondern man muss eine Verschiebung eintreten lassen, um das Minimum von neuem zu erhalten.

Da die mit den Platten verbundenen Telephondrähte, entsprechend dem Spiele des Inductoriums, hin- und hergehende Ströme aufweisen, so kann es zunächst auffallend erscheinen, dass eine Vertauschung der Telephondrähte eine Veränderung der Tonstärke hervorruft. Eine nähere Betrachtung lässt aber das Auffallende verschwinden.

Die beiden Platten seien mit b und d , die beiden Telephonenden mit B und D bezeichnet.

α) Es sei B mit b und D mit d verbunden. In einer bestimmten Zeit wächst das Potential der beiden Platten von 0 bis $+V$ und nimmt darauf wieder bis 0 ab, und zwar sollen

1) Diese Bemerkung bezieht sich auf die Versuche mit dem Plattenapparate; hat man eine Wheatstone'sche Brückencombination mit Flüssigkeitszellen, so treten andere Ursachen auf, die den Ton des Telephons nicht vollständig verschwinden lassen. (Vgl. Wietlisbach Ber. der Berl. Akad. p. 278. 1879.)

die Aenderungen in der Art vor sich gehen, dass die beiden Platten in demselben Zeitmoment immer das gleiche Potential haben. Es wird dann von beiden Platten aus eine Strömung der Electricität in den Telephondraht stattfinden und zwar so lange, als das Potential der Platten wächst; nimmt das Potential der Platten ab, so strömt die Electricität aus den Telephonenden auf die Platten zurück. Enthält das Telephon eine Unsymmetrie, so haben die beiden Ströme, die von den Platten ausgehen, nicht die gleiche Wirkung auf das Telephon und ebensowenig die beiden Ströme, die nach den Platten zurückkehren. Die Differenz dieser Wirkungen wird im Telephon wahrgenommen und macht sich ebenso geltend, als ob zwei schwache schnell hintereinander folgende entgegengesetzt gerichtete Ströme durch das Telephon fliessen würden. Nachdem das Potential der Platten von $+V$ bis 0 zurückgegangen ist, werden nach kurzer Zeit die Platten bis $-V$ und dann zurück bis 0 geladen; hierdurch erhält man wieder zwei Ströme im Telephon, die den zuerst genannten in ihrer Richtung (wenn jedesmal die Bewegungsrichtung der positiven Electricität als maassgebend betrachtet wird) entgegengesetzt sind.

Es werde jetzt weiter angenommen, dass die Platten nicht bis zu dem gleichen Potential geladen werden, sondern dass der Maximalwerth des Potentials der einen Platte um δ grösser sei, als der der anderen Platte. Infolge dieser Potentialdifferenz, die von 0 bis δ wächst und dann wieder bis 0 abnimmt, wird ein Strom durch das Telephon von einer Platte zur anderen gehen; die Richtung dieses Stromes kehrt sich um, wenn das Potential der Platten durch Null von positive auf negative Werthe übergeht. Beide Ströme (die von der Unsymmetrie und die von der Potentialdifferenz herrühren) superponiren sich und geben eine Resultirende. Setzt man voraus, was jedenfalls gestattet ist, dass die beiden Plattenpotentiale gleichzeitig ihr Maximum erreichen, so wird die Potentialdifferenz der beiden Platten ebenfalls zu dieser Zeit zum Maximum; dann ist $dV/dt = 0$ und infolgedessen der Strom, der von der Unsymmetrie des Telephons herrührt, ebenfalls Null.

β) Es sei B mit d und D mit b verbunden. Die Platten sollen die gleiche Stellung behalten, wie oben angenommen

wurde, sodass eine Potentialdifferenz von δ sich im Maximum entwickelt. Die Richtung der hierdurch im Telephon bedingten Ströme ist jetzt umgekehrt, während die Ströme, die durch die Unsymmetrie des Telephons entstehen, in gleichem Sinne wie früher durch das Telephon gehen. Würde der Intensitätsverlauf sämtlicher Ströme durch Sinuscurven dargestellt, die continuirlich fortgehen, so könnte keine Verschiedenheit durch die Umschaltung des Telephons in den resultirenden Stromstärken eintreten. Denn die beiden Ströme hätten dann bei gleicher Wellenlänge λ eine Phasendifferenz von $\lambda/4$ und die Umschaltung des Telephons würde für die eine Welle eine Verschiebung von $\lambda/2$ bewirken, die ohne Einfluss auf den Verlauf der resultirenden Amplitude wäre. Einen derartigen Intensitätsverlauf darf man aber nicht voraussetzen, da erstens der Schliessungsstrom des Inductors nicht unmittelbar dem Oeffnungsstrom folgt; hierdurch wird der eine Strom, der durch die Potentialdifferenz der Platte hervorgerufen wird, von zwei Strömen entgegengesetzter Richtung begleitet, die durch die Unsymmetrie des Telephons verursacht werden. Zweitens liefert der Inductor Ströme, die für sich allein schon von der einfachen Sinusform abweichen; gehen diese Ströme, resp. ein Theil derselben durch das Telephon, so wird ihr Verlauf durch die Selbstinduction der Telephonrolle und durch die Induction des Magneten noch weiter modificirt, sodass der schliessliche Verlauf ein von der Sinusform weit abweichender ist. Es kann deshalb nicht auffallen, wenn ein Unterschied in der Tonstärke bei der Umschaltung des Telephons sich geltend macht.

Dass die betrachteten Erscheinungen der Unsymmetrie auch noch auftreten, wenn man ungeschlossene Inductionsströme *ohne* eine Platte anwendet, liess sich voraussehen und konnte leicht gezeigt werden. Leitet man einen Pol des Inductoriums zur Erde und verbindet man beide Telephonenden durch *eine* Klemmschraube mit dem Draht, der von dem anderen Pol kommt, so hört man das Telephon deutlich. Wie ich nachträglich gesehen habe, hat Hr. L. Weber¹⁾ den gleichen oder fast gleichen Versuch gemacht. Es heisst p. 519:

1) L. Weber, Wied. Ann. 8. p. 515. 1879.

„10. Versuch. Zwei Drähte von genau gleicher Länge (etwa 2 m) werden mit dem einen Ende zusammengedreht und gemeinsam in die eine Polklemme des Inductors gesetzt. Die anderen Enden führten zu den beiden Klemmschrauben des Telephons. Der Ton war *mässig*. Derselbe verschwand, sobald eine der Telephonklemmen mit der Hand berührt wurde. Der Erfolg war genau derselbe, wenn die zusammengedrehten Enden an eine beliebige Stelle der Conductoren der Influenzmaschine gesetzt werden.“ Zur Erklärung dieses Versuches sagt Weber p. 523: „Der Versuch 10 entsprang der Absicht, mittels des Telephons Stellen verschiedener oder gleicher Spannung an einem und demselben Conductor aufzufinden. Wie aus der sich leicht bietenden Erklärung dieses Versuches hervorgeht, scheiterte jene Absicht an der ungenügenden Isolirung der Holzfassung des Telephons.“ Wenn ich den Verfasser recht verstehe, so setzt er voraus, dass, wenn die beiden Enden des Telephons mit zwei Punkten gleichen aber mit der Zeit wechselnden Potentials (wie beim Inductorium) verbunden werden und wenn ferner keine ungenügende Isolirung der Holzfassung vorhanden ist, dann auch ein Tönen des Telephons nicht eintritt. Dieser Voraussetzung stimme ich zu, sofern man von der Unsymmetrie, die im Telephon selbst liegt, absieht. Sobald aber eine solche Unsymmetrie vorhanden ist, wird auch ein Tönen eintreten. Um dem Einwand zu begegnen, dass das auch von mir beobachtete Tönen des Telephons — wenn die beiden Enden des Telephondrahtes unter sich gleiches aber mit der Zeit wechselndes Potential besitzen — durch mangelhafte Isolirung verursacht wird, habe ich folgende Versuche angestellt. Das Telephon wurde isolirt aufgestellt und mit der Hand nicht berührt; legte man das Ohr an das Telephon, so war der Ton wahrnehmbar. Hier lässt sich der Einwand erheben, dass durch das berührende Ohr eine Ableitung erfolgt und diese die Ursache des Tönens sei. Entfernte man das Ohr vom Telephon, so war die Tonempfindung so schwach, dass man zweifelhaft wurde, ob nicht der aus dem Nebenzimmer hörbare Unterbrechungsapparat des Inductoriums die Ursache der Empfindung sei. Es wurde deshalb der Schallbecher des Telephons mit einer dünnen Kautschukmembran umhüllt, die, wie an einem Electroskop

nachgewiesen wurde, gut isolirte. Nachdem das Telephon durch Paraffinplatten isolirt aufgestellt war, hörte das die Kautschukmembran berührende Ohr den Ton deutlich; jetzt war es sogar möglich, den Ton auch dann mit voller Sicherheit zu hören, wenn das Ohr die Membran und damit das Telephon nicht berührte. Hieraus geht mit Sicherheit hervor, dass auch dann, wenn das Telephon vollständig isolirt ist, unter den angegebenen Bedingungen ein Tönen eintritt.

B. *Geschlossene Inductionsströme.* Bei geschlossenen Inductionsströmen waren die im vorigen betrachteten Erscheinungen, wenn sie überhaupt nachweisbar waren, in viel geringerem Grade zu erwarten. Es wurden zunächst die beiden Enden E_1 und E_2 des Differentialtelephons mit demselben Punkte eines geschlossenen Stromkreises verbunden, während A_1 mit A_2 vereinigt war. Beim Spiel des Inductoriums hörte man das Telephon, allerdings nur sehr schwach, aber auch dann, wenn dasselbe mit einer isolirenden Kautschukmembran bezogen und isolirt aufgestellt war; der Ton war aber so schwach, dass man das Ohr an die Membran legen musste. Benutzte man das gewöhnliche Telephon, indem man die beiden Enden mit dem gleichen Punkte des Inductionskreises verband, so war ein Tönen nicht nachweisbar, auch dann nicht, wenn das Telephon mit der Hand gehalten wurde; die Unsymmetrie des Telephons ist nicht gross genug, um die Differenz der schwachen Wirkungen zur Empfindung kommen zu lassen. Es sei hier bemerkt, dass ein kleiner Inductionsapparat nach Kohlrausch mit zwei Grove'schen Elementen benutzt wurde, dass dieser Apparat im Nebenzimmer stand und dass zwei Drähte ohne Windungen in das Hauptzimmer zu einem geradlinig ausgespannten Platindraht geführt waren. Der Contact für den Platindraht wurde zur Verbindung mit den Telephonenden benutzt; dabei stand dieser Contact nahe an dem einen Ende des Platindrahtes.

Es schien mir nicht ohne Interesse, die erwähnte Unsymmetrie des gewöhnlichen Telephons bei der Wheatstone'schen Brückencombination näher zu untersuchen. Zu dem Zwecke wurden zwei Platindrähte von je 1 m Länge mit verschiebbarer Contacteinrichtung parallel nebeneinander in etwa

25 cm Abstand gestellt und als Brückenbranche in die Inductionsleitung eingeschaltet. Nachdem der Contact auf die Mitte eines Drahtes gestellt war, wurde ein gewöhnliches Telephon als Brücke benutzt und dann mit Hülfe des anderen Contactes das Minimum der Tonstärke, das, wie zu erwarten, äusserst schwach war, aufgesucht. Schaltete man dann in die Brücke einen parallel hin- und hergehenden inductionsfreien blanken Kupferdraht von etwa 70 m Länge, so ergab sich eine schwache Verstärkung des Telephons. Um einen grösseren Unterschied herbeizuführen, wurde über dem Boden des Zimmers ein wohl isolirter Draht von rund 1100 m Länge zickzackförmig hin- und hergeführt und mit Hülfe einer Wippe derartig in die Brücke eingeschaltet, dass man nach Belieben nur das Telephon nebst einem kurzen Verbindungsdraht von 0,3 m Länge, oder das Telephon und den 1100 m langen Draht in der Brücke hatte. Suchte man dann bei der ersten Stellung das Minimum auf, so hörte man eine deutliche Verstärkung des Telephons, wenn der lange Draht in die Brücke eingeschaltet wurde. Eine Verschiebung der Contactstelle brachte in dem letzten Falle aber keine wahrnehmbare Abschwächung hervor; durch die Einschaltung war das Minimum also stärker geworden. Es trat dies auch dann ein, wenn das Telephon isolirt aufgestellt und mit einer isolirenden Kautschukmembran bezogen war. — Auf die Bestimmung von Widerständen hat eine in der Construction des Telephons oder absichtlich herbeigeführte Unsymmetrie nur insofern Einfluss, als das Minimum weniger gut wird. Eine Verschiebung der Contactstelle für das Minimum tritt nicht ein, wenigstens konnte eine solche nicht nachgewiesen werden; auch eine Vertauschung der Telephonenden in der Brücke liess keine Verschiebung des Minimums erkennen. Bei dem Plattenapparat war, wie früher erwähnt wurde, die Erscheinung eine andere; in diesem Falle sind eben die im Telephondrahte wirksamen Ströme ganz bedeutend stärker.

Was nach dem Vorhergehenden beim Telephon sich gezeigt hat, muss auch bei einem hinreichend empfindlichen Electrodynamometer nachweisbar sein. Wenn die Enden des Drahtes immer vollkommen gleiches aber mit der Zeit veränderliches Potential haben, so wird das Dynamometer nur

dann keine Ablenkung zeigen¹⁾, wenn die Rollen symmetrisch gegenüber den Enden gleichen Potentials liegen, sodass die Ströme, welche von den Drahtenden aus gegen die Rollen hinwandern, sich gegenseitig compensiren.

Endlich möge noch auf folgende Consequenz, die, soviel ich weiss, noch nicht ausdrücklich hervorgehoben ist, hingewiesen werden. Verbindet man bei einer Stromverzweigung zwei Punkte gleichen Potentials durch einen Draht, so hat dies bekanntlich bei einem constanten Strom keinen dauernden Einfluss auf die übrigen Stromleiter. Wird aber die Verzweigung von Wechselströmen durchlaufen, so ist die Verbindung zweier Punkte gleichen Potentials nicht ohne Einfluss, d. h. die Stromintensitäten in den übrigen Stromleitern erfahren eine Aenderung, wenn die Verbindung hergestellt wird, da eben an den Verbindungsdraht ein Theil der Stromenergie dauernd abgegeben wird.

C. *Grössere Empfindlichkeit des Differentialtelephons bei Anwendung des Plattenapparates zur Bestimmung von Dielectricitätsconstanten.* Wie aus dem Früheren hervorgeht, wird das Telephon bei dem Plattenapparat schweigen, wenn die Potentiale der beiden betreffenden Platten zu jeder Zeit einander gleich sind und wenn ferner

$$\frac{de_1}{dt} = \frac{de_2}{dt}$$

ist; es ist hierbei von der Unsymmetrie, die im Telephon selbst liegt, abgesehen. Die Bewegungen der Electricität kommen unter diesen Bedingungen nur theilweise in dem Telephon-drahte zu Stande, indem von beiden Enden des Telephons die Electricitäten sich bis zu dem neutralen Punkte ausbreiten und dann wieder rückwärts fliessen. Es war zu erwarten, dass die Empfindlichkeit der Einstellung wachsen würde, wenn man eine Einrichtung trifft, durch welche die Electricitäten ganz zum Abfluss, resp. zum Rückfluss gelangen. Mit einem gewöhnlichen Telephon ist dies, sofern die bisherige Schaltungsweise festgehalten wird, nicht zu erreichen, dagegen wohl mit einem Differentialtelephon. Bezeichnet man ebenso, wie früher,

1) Von Phasendifferenzen, die durch Oberbeck (Wied. Ann. 17. p. 816. 1882 etc.) näher studirt sind, ist hier abgesehen.

die beiden Anfangsstücke der Doppeldrähte des Telephons mit A_1 und A_2 , die beiden Endstücke mit E_1 und E_2 , so verbinde man A_1 und E_2 mit den beiden Platten des Apparates und ferner A_2 und E_1 unter sich. Lässt man die Verbindung von A_2 E_1 isolirt, so hat man eine ähnliche Wirkung, wie bei einem gewöhnlichen Telephon; verbindet man dagegen A_2 E_1 mit der Erde, so kommen die Ströme in beiden Drähten A_1 E_1 und E_2 A_2 vollständig zu Stande. Um diese Einrichtung zu prüfen, wurde den Platten ein grösserer Abstand gegeben und dann abwechselnd von rechts und von links¹⁾ auf das Minimum des Telephons eingestellt. Die Differenz in diesen Einstellungen war bei der Ableitung zur Erde immer viel kleiner (höchstens die Hälfte), als ohne diese Ableitung; die Empfindlichkeit des Differentialtelephons mit Ableitung ist also mindestens doppelt so gross, wie ohne Ableitung.

Jena, Juni 1892.

1) Vgl. Winkelmann, Wied. Ann. 38. p. 164. 1889.

Berichtigungen.

Bd. XLIV. (Negbaur) p. 740. 745. 747 statt Hg SO_4 lies $\text{Hg}_2 \text{SO}_4$.

Bd. XLV. (Buddé) p. 757 Z. 2 v. o. statt $\frac{\partial Q}{\partial v} dv dt$ lies $\frac{\partial Q}{\partial v} dv$.

ebenda. Die Gleichung Z. 5 v. u. bekommt die Nummer (10).

„ Z. 2 v. u. lies (10) statt (9).

Bd. XLVI. (F. Streintz) p. 456 Z. 9 v. o. statt liegenden Druck lies „Säurecoefficienten“.

Bd. XLVI. (H. O. G. Ellinger) p. 513 Z. 18 ist als Note nachzutragen: E. Cohn, Wied. Ann. 45. p. 370. 1892.