Experimental-Untersuchung über die Möglichkeit einer Doppeltelephonie mittels unterbrochener Klänge,

VON

J. W. GILTAY.

Verhandelingen der Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam.

(EERSTE SECTIE).

DEEL IX. N°. 3.

MIT 4 TAFELN.

AMSTERDAM,
JOHANNES MÜLLER.
1906.

EXPERIMENTAL-UNTERSUCHUNG
über die Möglichkeit einer Doppeltelephonie mittels unterbrochener Klänge.

Wenn man eine Selenzelle, welche sich mit einer Batterie und einem Telephon in einer Leitung befindet, einer intermittirenden Beleuchtung aussetzt, so wird man, falls der Wechsel von Hell und Dunkel schnell genug vor sich geht, im Telephon einen Ton hören. Ein Apparat welcher dies Experiment bequem auszuführen gestattet, ist in Fig. 1 abgebildet. In einem eisernen Gehäuse dreht sich eine mit schwarzem Papier derart beklebte Glasscheibe *s*, dass 6 Fensterchen ausgespart bleiben. Die Selenzelle wird, mit der Selenoberfläche nach innen, in das Loch *ab* des Gehäuses geschoben und mit 2 Federn *ff* befestigt. Wird jetzt an der anderen Seite des Gehäuses, an welcher sich in der Wand ebenfalls ein mit *ab* korrespondirendes Loch befindet, eine Lichtquelle aufgestellt, und wird die Glasscheibe gedreht, so ist die Zelle einer intermittirenden Beleuchtung ausgesetzt.

Beleuchtet man eine mit Batterie und Telephon verbundene Selenzelle mit einer vibrirenden Acetylenflamme, so wird man im Telephon mit den Schwingungen der Flamme übereinstimmende Klänge wahrnehmen. Man kann dazu den Apparat Fig. 2 verwenden. *a* ist die Selenzelle, *b* eine manometrische Kapsel, *c* der Schalltrichter mit Gummirohr (das auf *b* geschoben wird) und *d* der Acetylenentwickler. Wird jetzt leise in den Trichter *c* hinein gesprochen, so wird im Telephon Alles wiedergegeben.

Als ich mich mit obengenannten Versuchen beschäftigte, kam mir der Gedanke: was wird man hören wenn man die Einrichtungen von Fig. 1 und Fig. 2 *zugleicherzeit* gebraucht? Also wenn man die *vibrirende* Flamme vor der Oeffnung des Drehapparates Fig. 1 aufstellt?

Die Frage, die ich mir dabei stellte, war also eigentlich: was wird man hören wenn man einen konstanten Ton periodisch unterbricht? Ich dachte mir, eben so wie man durch eine sich drehende durchlöcherte Scheibe *sehen* kann, eben so wird man auch durch eine solche Scheibe *hören* können.

Aus einem kombinirten Versuch mit der vibrirenden Flamme und der sich drehenden Scheibe kann man keine exakten Resultate erwarten, weil neben der durch die Vibration der Flamme erzeugten Tönen auch der konstante Ton wird wahrgenommen werden, der durch die Drehung der Scheibe ensteht.

Dennoch waren die Resultate dieses Experiments nicht gänzlich unbefriedigend. Bei ungefähr 200 Unterbrechungen pro Sekunde wurden einige Laute wahrgenommen, als die ersten Zeilen unserer Nationalhymne in die manometrische Kapsel hineingesprochen wurden. Die Wörter wurden dabei im Telephon zwar erkannt; ich muss aber dazu bemerken dass ich sie nicht würde verstanden haben wenn ich nicht gewusst hätte was dort gesprochen wurde. Die Vokale hatten ihren Charakter sehr geändert, was vielleicht durch den Nebenton der rotierenden Scheibe verursacht wurde. Singen vor dem Mikrophon ergab eine äusserst merkwürdige Musik, es waren keine falschen Töne, die man im Telephon hörte, aber es war ganz etwas Anderes als was auf der Absendestation gesungen wurde!

Die Frage ob ein periodisch unterbrochener Klang konstanter Höhe und konstanter Intensität auch wieder als ein Klang der nämlichen Höhe und konstanter Intensität wahrgenommen wird, war durch das obengenannte Experiment freilich nicht beantwortet, aber es ergab sich daraus meines Erachtens doch die Wahrscheinlichkeit dass eine bejahende Antwort auf diese Frage würde gegeben werden müssen. Die Antwort interessirte mich nicht ausschliesslich vom wissenschaftlichen Standpunkt: ich hoffte in dieser Richtung die Lösung zu finden eines Problems, mit welchem ich mich schon seit vielen Jahren beschäftigte, nämlich einer Methode für Duplex- und vielleicht auch Multiplex-Telephonie.

Da mir nicht bekannt war ob je Experimente mit unterbrochenen Klängen gemacht worden sind, habe ich mich danach bei Herrn Prof. G. Heymans in Groningen erkündigt, der die Güte hatte mich auf die Arbeiten von Alfred M. Mayer zu verweisen, der sich vor verschiedenen Jahren schon mit diesem Studium beschäftigt hatte. Seine Publikationen finden sich in „the American Journal of Science und Arts", third series, Vol. 8, 1874, Vol. 9, 1875

und Vol. 47, 1894, unter dem Titel „Researches in Acoustics".

MAYER gebrauchte für seine Versuche anfangs den in Vol. 8, S. 242 abgebildeten Apparat. Nachher hat er ihn verbessert; die Beschreibung und Abbildung davon findet sich in Vol. 47, S. 8. Unsere Figur 3 zeigt diesen Apparat. Wie man sieht, besteht derselbe aus einer vor der Oeffnung eines Resonators aufgestellten Stimmgabel und einer durchlöcherten Scheibe, welche vor der engen Oeffnung des Resonators sich dreht. An der anderen Seite der Scheibe befindet sich die Röhre, die den unterbrochenen Ton der Stimmgabel in das Ohr leitet. Der Durchmesser dieser Röhre und der in der Scheibe befindlichen Löcher war 10 mm.; der Durchmesser der engen Resonatoröffung 5 mm. Die Distanz zwischen den Mittelpunkten der Scheibelöcher war gleich dem sechsfachen Durchmesser der engen Resonatoröffnung, also 30 mm. Die Periode absoluter Stille (abgesehen von dem schwachen Tone, der noch durch die volle Scheibe drang) war also eben so gross wie die Periode des Tönens, den crescirenden und decrescirenden Theil damit einbegriffen. Es wird dies durch Figur 4 deutlich gemacht; der Einfachheit halber lassen wir die Resonatoröffnung *r* in der Richtung des Pfeiles sich verschieben; *gg* sind 2 Löcher der Scheibe, die Distanz zwischen deren Mittelpunkten ist gleich 6 ab. Der Ton fängt an hörbar zu werden so wie *r* die Linie 2 überschreitet und endet in dem Augenblicke in dem *r* die Linie 5 zu überschreiten anfängt. Die Dauer des Tönens ist also gleich 3 mal derjenigen Zeit, in welcher eine Distanz ab zurückgelegt wird. So bald *r* die Linie 8 zu schneiden anfängt, fängt der Ton wieder an; es ist also die Ruheperiode gleich der Zeit, die erfordert wird um die Distanz von Linie 5 bis Linie 8 zurückzulegen, das heisst eine Distanz 3 ab, also ist die Dauer des Tönens gleich der Dauer der Ruhe.

MAYER hat auf diese Weise bestimmt wie lange der Eindruck des Schalles derart nachwirkt dass man noch einen ruhigen Ton wahrzunehmen meint. Aus den Resultaten, die er mit Tönen verschiedener Höhe bekam, hat er die folgende Formel aufgestellt:

$$D = \left\{ \frac{33000}{N + 30} + 18 \right\} 0{,}0001.$$ [1])

Darin ist *D* die Zeit, während welcher der Schall genügend nachwirkt um die Empfindung eines ruhigen Klanges zu geben;

---

[1]) Vol. 47. S. 15.

N ist die Anzahl ganzer Schwingungen (vibrations doubles) desjenigen Tones, womit experimentirt wird.

MAYER fand auch [1]) dass diese Zeit D sich sehr wenig änderte mit der Intensität des vor dem Resonator hervorgebrachten Tones und weiter dass, wenn er einmal schnell genug drehte um einen ruhigen Klang zu erzielen, dieser Klang sich nicht änderte wenn er anfing schneller zu drehen. Wie weit er mit diesem schnelleren Drehen ging, wird jedoch nicht erwähnt; er sagt davon: „Extreme velocities, of course, produce such violent agitations at the mouth of the resonator as to render experimenting impossible."

Wir wissen jetzt also:

1. Wenn man einen constanten Ton periodisch unterbricht, und die Klangperiode der Ruheperiode gleich nimmt, so hört man, falls die Unterbrechungen schnell genug vor sich gehen, einen konstanten Ton derselben Höhe.

2. Dreht man rascher, so bleibt dennoch die Erscheinung dieselbe.

3. Aenderung in der Intensität des Tones erfordert keine Aenderung in der Geschwindigkeit mit welcher die Unterbrechungen sich folgen müssen um einen ruhigen Klang zu erzielen.

Wenn das sub 2 genannte nicht nur in ziemlich engen Grenzen der Fall ist, so wird es — wenigstens theoretisch — möglich sein müssen auf diese 3 Thatsachen ein System von Duplex- und vielleicht auch sogar von Multiplex-Telephonie zu bauen.

Nach Helmholtz [2]) ist der höchste Oberton des Vokals I das d'''' von 2376 ganzen Schwingungen. Berechnen wir dafür das D aus der Mayer'schen Formel, so bekommen wir $D = \frac{1}{315}$ Sek. Das heisst also, die Ruheperiode für den Vokal I darf höchstens $\frac{1}{315}$ Sek. dauern. Wenn wir bei unseren Experimenten die Klangdauer von der selben Grösse wählen wie die Ruheperiode, wie das bei den Mayer'schen Versuchen der Fall war, so müssen also wenigstens $\frac{315}{2}$, sagen wir 160, Unterbrechungen pro Sekunde auftreten um den Vokal I ruhig zu hören.

Der charakterisirende Oberton des Vokals U (Deutsche Aussprache) ist das f von 176 ganzen Schwingungen. Dafür ist $D = \frac{1}{56}$ Sek., es

---

[1]) Vol. 8. S. 245.

[2]) Die Lehre von den Tonempfindungen, 3e Ausg. S. 171.

würden also für das *U* 28 Unterbrechungen pro Sek. ausreichen. Um die menschliche Sprache mit unterbrochenem Schall ordentlich wahrnehmen zu können, ist es also nothwendig dass man den Vokal *U*, der nur 28 Unterbrechungen pro Sek. erfordert, auch noch gut versteht bei 160 Unterbrechungen. Wir kommen nachher hierauf zurück.

Die nächtsliegende Methode auf die Mayer'schen Resultate ein System von Doppeltelephonie zu bauen, ist wohl die in Fig. 5 schematisch angegebene.

S ist eine auf einer metallenen Achse *m n* befestigte und damit leitend verbundene Metallscheibe. An der Peripherie dieser Scheibe sind Segmente ausgeschnitten und die dadurch entstandenen Lücken mit Hartgummi ausgefüllt. Die schwarzen Streifen stellen Hartgummisegmente vor, die weisse Streifen Metall. Die Hartgummisegmente sind ein wenig grösser als die metallenen. Auf der Peripherie der Scheibe schleifen 2 Federn, 1 und 3. Diese befinden sich in einer solchen Lage, dass, wenn 1 auf der Mitte eines Metallsegments ruht, 3 auf der Mitte eines Hartgummisegments anliegt. Die Feder 2 druckt dauernd auf die Achse *m n*. An der anderen Station befindet sich ebenfalls eine Scheibe mit 3 Kontaktfedern, 4, 5 und 6, alles vollkommen gleich der in Station I befindlichen Anordnung.

In Station I befinden sich die Telephone *a* 1 und *b* 1, und in Station II die Telephone *a* 2 und *b* 2. Aus der Figur ist deutlich zu sehen, wie diese mit den Federn und den Leitungen verbunden sind.

Wir nehmen an dass die Scheiben in Ruhe sind und dass 1 und 4 auf der Mitte eines Metallsegments aufliegen, 3 und 6 dagegen auf der Mitte eines Hartgummisegments. Wird jetzt in das Telephon *a* 1 gesprochen, so gehen die darin induzirten Ströme nach 1, in die Metallscheibe, durch 2 in die obere der beiden Linien, durch Telephon *a* 2 nach 4, durch die Metallscheibe in Station II, durch 5 zur unteren Linie und so zurück zu *a* I. Man wird also in *a* 2 hören, was in *a* 1 gesprochen wird. Es werden aber weder *b* 1 noch *b* 2 etwas vom Gesprochenen hören, da die beiden sich in einer Leitung befinden, welche an 2 Stellen unterbrochen ist, nämlich bei 3 und bei 6. Was in *b* 1 gesprochen wird, wird, aus demselben Grunde, in 2 *b* nicht gehört werden. [1])

---

[1]) Es genügt nicht, dass die Leitung nur an einer Stelle unterbrochen wird, da man noch ganz gut ein telephonisches Gespräch halten kann zwischen 2 Stationen, die nur durch eine einzige Linie verbunden sind und keine Erdverbindung haben. Die Klänge sind dann freilich schwach, aber mit einem guten Mikrophon und einer passenden Mikrophonbatterie kann man Alles noch recht gut verstehen.

Es befindet sich also *a* 1 in elektrischer Verbindung mit *a* 2, und die Telephone *b* 1 und *b* 2 sind todt, so lange die Federn 1 und 4 mit den Messingstreifen in Kontakt sind. Dreht man jetzt die Scheiben an den beiden Stationen mit derselben Geschwindigkeit, so werden in einem folgenden Augenblick *a* 1 und *a* 2 todt, *b* 1 und *b* 2 degegen mit einander in Verbindung sein. Dreht man die Scheiben synchron und genügend schnell, so kann man erwarten dass sowohl *a* 1 mit *a* 2 als *b* 1 mit *b* 2 *zugleicherzeit* werden sprechen können, und dass *b* 1 und *b* 2 nichts von *a* 1 und *a* 2 werden hören können, eben so wenig als *a* 1 und *a* 2 von *b* 1 und *b* 2.

Der Apparat, den ich für diesen Versuch baute, bestand aus 2 Metallscheiben von 16,5 cM. Durchmesser, die beide auf einer selben Achse befestigt waren. Die Scheiben waren mit 36 mit Hartgummi ausgefüllten Ausschnitten versehen. Für die Kontakte auf der Peripherie der Scheiben benützte ich sowohl Metallrollen als Metallfedern und Kohlebürsten. Eine Umdrehung der Scheibe pro Minute giebt $\frac{36}{60} = 0{,}6$ Unterbrechungen pro Sek. Es würden also für den Vokal I $\frac{160}{0{,}6} = 266$ Umdrehungen pro Minute genügen.

Ich habe mit diesem Apparat jedoch nichts brauchbares bekommen. Von Verstehen war gar keine Rede, man könnte meistens sogar nicht hören dass gesprochen wurde. Auch das Uebertragen des Tones einer Stimmgabel und einer Stimmflöte misslang vollkommen. Man hörte im Telephon nur einen fürchterlichen Lärm, der mit artikulirten Lauten oder musikalischen Tönen gar nichts zu tun zu haben schien. Ich habe mit diesem Apparat nur versucht, ob man in *a* 1 die Klänge hören könnte die in der Nähe von *a* 2 hervorgebracht wurden, ich liess also die beiden Telephone *b* 1 und *b* 2 überhaupt fort. Statt eines Telephons als Sender, was ich in Fig. 5 nur einfachheitshalber skizzirte, diente ein Hunnings-Mikrophon, das verbunden war mit 2 Accumulatorelementen und dem Primärdraht eines kleinen Transformators, dessen Sekundärdraht mit der Leitung in Verbindung war, also ganz wie in der telephonischen Praxis.

Ich habe auch noch auf eine andere Weise versucht mit diesem Apparat meinen Zweck zu erreichen. Ich glaubte nämlich bemerkt zu haben dass der Klang im Telephon ein wenig besser war, als ich eins meiner Kontakträder benützte, nicht um die Linie zu unterbrechen, sondern um einen Kurzschluss zwischen Linie und Rücklinie abwechslend zu schliessen und zu öffnen. Fig. 6 zeigt

dies schematisch. Die Linie *a b* ist mit einer Feder *c* und die Linie *de* mit der Scheibe *f* verbunden. Dreht sich die Scheibe, so wird jedesmal wenn ein Messingsegment mit der Feder in Berührung ist, ein Kurzschluss gebildet zwischen den Linien *a b* und *d e;* in diesem Augenblick wird also das Telephon *T* 1 (praktisch) keinen Strom bekommen. Nun ist aber während der Zeit, in welcher dieser Kurzschluss da ist, die Linie unbrauchbar *für die beiden anderen Telephone*, die über dieselbe Linie sprechen sollen. Um diese Schwierigkeit zu umgehen, versuchte ich die in Fig. 7 skizzirte Einrichtung. Die Scheibe *f* macht, eben so wie es in Fig. 6 der Fall war, einen Kurzschluss während der Zeit in welcher sie mit der Feder *c* in Berührung ist. Ausserdem ist aber noch eine zweite Scheibe *g* da, eben so beschaffen wie *f* und mit derselben Geschwindigkeit sich drehend als *f*. Diese Scheibe dient dazu die Linie *de* periodisch zu unterbrechen: so lange die Feder *h* mit der Scheibe *g* in Kontakt ist, ist die Linie *de* geschlossen; so wie jedoch dieser Kontakt geöffnet wird, ist auch die Linie *de* unterbrochen. Die Lage der Scheiben und die Breite der Metallsegmente war derart gewählt, dass sich, wenn die Scheiben rotierten, der Vorgang folgendermassen abspielte: (Fig. 7 und 8)

l. *f* bildet einen Kurzschluss zwischen den beiden Linien.
m. *g* unterbricht die Linie *d c*.
n. der Kurzschluss bei *f* wird unterbrochen.
o. „ „ „ „ „ wieder hergestellt.
p. *g* schliesst die Linie *d c*.
q. der Kurzschluss bei *f* wird unterbrochen.
r. „ „ „ „ „ wieder hergestellt.
s. die Linie *c d* wird unterbrochen.
t. der Kurzschluss bei *f* wird unterbrochen.
u. wie bei *l.* u. s. w.

Zwischen *n* und *o*, *t* und *u*, u. s. w. ist der Kurzschluss und ebenfalls die Verbindung bei *g h* unterbrochen. Während dieser Zeit wäre die Linie also disponibel für die beiden anderen Telephone, die im Duplex-System sprechen sollen. [1])

Wie man sieht, geschieht das Schliessen und Oeffnen der Linie bei dieser Einrichtung stets in einem Augenblick, in welchem in der Linienstrecke *kadi* kein Strom fliesst. Ich erwartete desshalb,

---

[1]) Es würde nicht nur die Linie de sondern auch ab unterbrochen werden müssen um eine vollkommene Stille in T1 während der Perioden no, tu u. s. w. zu erzielen. Da es sich jedoch nur um einen vorläufigen Versuch handelte, habe ich mich mit *einer* Unterbrechungsstelle begnügt.

dass das Schliessen und Oeffnen keinen störenden Einfluss auf das Telephon $T1$ haben würde. Das Experiment ergab jedoch, dass die im Telephon $T1$ auf diese Weise erzeugten Klänge eben so unbrauchbar waren als diejenigen, welche ich mit der Einrichtung von Fig. 5 erhielt.

Beim Suchen nach der Ursache dieses Misserfolges lag es nahe zuerst den principiellen Unterschied meiner und der Mayer'schen Versuche festzustellen. Der grosse Unterschied ist folgender: bei MAYER geschieht der Uebergang des Tönens zur Stille und umgekehrt *allmählig*, da der Ton, wenn das Loch r nur einen kleinen Teil des Loches g bedeckt (Fig. 4), sich nur sehr schwach in dem Hörrohre fortpflanzt. Bei meiner Einrichtung dagegen dauert die Stille so lange als die Kontaktfeder auf dem Hartgummi ruht; so wie die Feder mit einem Metallsegment in Berührung kommt, kommt *sofort* der Telephonstrom in seiner vollen Stärke in die Linie und in das Telephon, in welchem man hört. Ebenso hört der Strom im Telephon *sofort* auf, wenn die Feder das Metallsegment verlässt.

Nun ist es klar dass eine Telephonmembran von ihrer Ruhelage aus nicht in einem Augenblick diejenige Abweichung bekommen kann, die zu der in dem Momente herrschenden Stromstärke gehort; beim Anfang der Schallperiode wird also während einer kurzen Zeit das Telephon nicht die richtigen Schwingungen wiedergeben. Desgleichen wird beim plötzlichen Aufhören der Telephonströme die Membran nicht sofort zur Ruhe kommen. Geschieht das Oeffnen der Leitung in einem Moment, in dem der Telephonstrom $= 0$ ist, so hat die Membran grade ihre grösste Geschwindigkeit und eine Abweichung $= 0$; geschieht das Oeffnen in einem Augenblick, in dem der Telephonstrom seine Maximalintensität hat, so ist die Membran freilich in Ruhe, aber sie befindet sich dann nicht in derjenigen Lage, welche zu einem Telephon ohne Strom gehört. In beiden Fällen wird also die Membran nach dem Aufhören der Telephonströme noch etwas nachschwingen.

Es existirt also sowohl beim Anfang als beim Schluss der Schalldauer eine kurze Periode, in welcher die Schwingungen der Telephonmembran nicht mit den von der anderen Station kommenden Telephonströmen übereinstimmen. Wir wollen diese Schwingungen der Kürze halber Eigenschwingungen nennen, obwohl sie eigentlich eine Summation von Eigenschwingungen und erzwungenen Schwingungen sind.

Wenn wir das Obengesagte als die richtige Erklärung des Misslingens unserer Versuche annehmen, so werden wir versuchen müssen eine Einrichtung zu finden bei welcher der Uebergang von Klang zur Stille und umgekehrt *allmählig* vor sich geht.

Man kann diese sowohl auf elektrostatischem als auf elektromagnetischem Wege finden.

Die elektrostatische Methode wird in Fig. 9—11 schematisch dargestellt. *A* (Fig. 9—10) ist eine Metallscheibe, fest und leitend mit der Achse *p p* verbunden. Sie hat an jeder ihrer Seitenflächen zahnförmige Erhöhungen *a a*. *B* und *C* sind stillstehende Scheiben durch welche die Achse *p p* ohne sie zu berühren hindurchgeht. *B* und *C* sind ebenfalls mit zahnförmigen Erhöhungen versehen, in Grösse und Anzahl gleich denen von *A*. Aber während *A* an beiden Seiten Zähne hat, haben *B* und *C* sie nur an den beiden gegen *A* gerichteten Flächen. *B* und *C* sind derart einander gegenüber gestellt, dass eine Horizontalprojektion der Zähne von *B* gerade in den Raum *zwischen* den Zähnen von *C* fällt. Befindet sich *A* nun in einer solchen Lage, dass ihre Zähne gerade gegenüber denjenigen von *B* liegen, so liegen die an der anderen Seitenfläche auf *A* befindlichen Zähne (Fig. 9, rechts) gegenüber dem Raum, der sich zwischen den Zähnen von *C* befindet.

A bildet nun mit *B* einen Luftkondensator, und ebenfalls mit *C*. Aber in der Lage der Fig. 9 ist die Kapacität des Kondensators *A B* viel grösser als diejenige des Kondensators *A C*, und durch eine passende Wahl der Verhältnisse kann man erreichen dass die Kapacität des Kondensators *A C* bei dieser Lage von *A* so gering ist, dass er keine hörbaren Telephonströme übermittelt.

Fig. 11 zeigt schematisch wie man mit einem solchen Apparat Doppeltelephonie würde betreiben können. Die beiden Linien sind durch Schleifkontakte verbunden mit den Achsen *p p*, auf welchen die Scheiben *A* befestigt sind. Wenn die Scheiben sich in der in Fig. 11 gezeichneten Lage befinden, so kann *b* mit *b* 1 sprechen. Dreht man die Scheiben *A*, *A* 1 ... so weit, bis die auf ihrer rechten Fläche befindlichen Zähne den Zähnen van *C*, *C* 1 ... gerade gegenüber liegen, so kann *c* mit *c* 1 sprechen. Geschieht die Drehung von *A*, *A* 1 ... rasch genug, so kann *b* mit *b* 1 und zugleicherzeit *c* mit *c* 1 sprechen, ohne dass *b* etwas von *c*, oder umgekehrt, hören kann.

Durch eine kleine Aenderung an der Einrichtung von Fig. 11 kann man die Schleifkontakte (die vielleicht wohl dazu beigetragen haben das Experiment von Fig. 5 misslingen zu lassen) vermeiden. Man würde dazu die Scheiben *A*, *A* 1 *A* 2 *A* 3 von Fig. 11 in

bleibender Verbindung lassen mit den flachen Scheiben *N N*1 *N*2 *N*3 (Fig. 12), welche mit den *A*-Scheiben auf derselben Achse befestigt sind. Diese *N*-Scheiben induziren dann wieder die stillstehenden mit der Leitung verbundenen *M*-Scheiben.

Es zeigte sich jedoch schon bei einigen Vorversuchen, dass ein elektrostatischer Apparat, um praktisch brauchbare Klänge zu geben, sehr gross würde sein müssen. Da die Einrichtung von Fig. 12 noch 2 Translationen mehr erfordert als die in Fig. 11 skizzirte, so gilt dies Bedenken für die in Fig. 12 angegebene Einrichtung selbstverständlich in noch höherem Grade.

Dennoch will ich ein Experiment beschreiben, das zeigt, wie man mit äusserst geringen Kapazitäten noch verständliche Klänge übertragen kann.

Das Telephon *t* (Fig. 13) ist verbunden mit den linken Platten zweier Luftkondensatoren, *a* und *b*. Die beiden anderen Platten sind mit dem Sekundärdraht eines Transformators I verbunden; der Primärdraht mit einem Hunnings-Mikrophon und 2 Accumulatoren. Die Kondensatoren bestanden aus 2 Spiegelglasplatten von etwa 15 × 15 cM.; auf jede Platte war ein Stanniolstreifen von 14 mM. Breite geklebt. Die Glasplatten wurden, durch 3 Glimmerstückchen getrennt, derart aufeinder gelegt, dass sich die Stanniolstreifen über eine Länge von 60 mM. gerade deckten. Die Vertikaldistanz zwischen den Stanniolstreifen war 0,2 mM. Die Glimmerplättchen waren so weit von den Stanniolstreifen entfernt, als es die Grösse der Glasplatten erlaubte; die Kondensatoren befanden sich in einem stark geheizten Zimmer und hatten schon seit einigen Stunden darin gelegen bevor das Experiment gemacht wurde, so dass von Isolationsfehlern keine Rede sein könnte. Sicherheitshalber habe ich das Experiment auch noch gemacht mit Glasplatten o h n e Stanniolbelegung; dabei war im Telephon nichts zu hören.

Es zeigte sich nun, dass man mit diesen Luftkondensatoren, die also eine wirksame Oberfläche von 14 × 60 mM. bei einer Plattendistanz von 0,2 mM. hatten, im Telephon noch sehr gut verstehen konnte, was vor dem Mikrophon gesprochen wurde. [1])

Ich füge hinzu dass ich für diesen Versuch ein Telephon benützte mit mehr Drahtwindungen, als gewöhnlich in der Praxis gebraucht wird und einen Transformator mit mehr sekundärem Draht als üblich.

---

[1]) Um zu bestimmen durch welche Kapazität man noch telephoniren kann, muss man immer *zwei* Kondensatoren gebrauchen; den Grund dafür habe ich schon in der Bemerkung auf *S.* 7 unten angegeben.

Als ich bemerkte, dass die für diese Apparate erforderlichen sehr grossen Dimensionen es sehr unwahrscheinlich machten, mit der elektrostatischen Methode praktisch brauchbare Resultate zu erhalten, so versuchte ich, mein Ziel durch Anwendung der elektromagnetischen Induktion zu erreichen.

Fig. 14 deutet schematisch an, wie ich mir eine solche Vorrichtung dachte. Auf jeder Station befinden sich 2 auf einer Achse befestigte Hartgummischeiben. Jede Scheibe ist mit z. B. 12, der Drehungsachse parallelen, Löchern versehen; in jedem Loch befindet sich ein mit isolirtem Draht bewickelter Eisenkern, dessen Achse ebenfalls der Drehungsachse parallel ist. Der Leitungsdraht einer jeden Spule bildet mit dem der ihr diametral gegenüber liegenden Spule eine geschlossene Leitung. *a b c d e f g* und *h* sind Hufeisenelektromagnete, zwischen deren Polschuhen sich die Spulen *i i* . . . drehen. Wie die Figur zeigt, befinden sich die beiden auf derselben Achse befestigten Scheiben in verschiedener Lage. In dem Augenblick in welchem sich nämlich 2 *i*-Spulen der Scheibe *A* in der Mitte der Felder von *a* und *c* befinden, befinden sich die Hufeisen *b* und *d* gerade in der Mitte zwischen 2 *i*-Spulen der Scheibe *B*.

Es ist ohne Weiteres klar, dass in der Lage von Fig. 14 *T* mit *T* 1 wird sprechen können und dass in dieser Lage die Telephone *T* 2 und *T* 3 todt sind. Dreht man nun an beiden Stationen die Achsen, auf denen sich die Scheiben befinden, mit genügender und synchroner Geschwindigkeit, und war beim Anfang der Bewegung die Lage von *A* genau gleich derjenigen von *C*, so kann man erwarten, dass *T* und *T* 1 und zugleicherzeit unabhängig davon *T* 2 und *T* 3 mit einander werden sprechen können.

Da man das erdmagnetische Feld in dem kleinen von den drehenden Scheiben eingenommenen Raume als überall von derselben Intensität annehmen kann, so wird vom Erdmagnetismus kein Strom in den bewegten Spulen induzirt werden, denn diese Spulen bewegen sich derart, dass die Achsen sich stets sich selbst parallel verschieben, so dass sie in jeder Lage von derselben Anzahl erdmagnetischer Kraftlinien durchschnitten werden.

Der Apparat, mit welchem ich versuchte meinen Zweck auf elektromagnetischem Wege zu erreichnen, war wie folgt eingerichtet: *A* (Fig. 15) war eine Hartgummischeibe von 31 cM. Durchmesser, in welchem sich 12 mit isolirtem Draht bewickelte Eisenspulen befanden.

Die Spulen sind in Fig. 16 in natürlicher Grösse dargestellt. Die Drahtdicke der Windungen war 0,1 mM.; der Widerstand

einer jeden Spule betrug etwa 50 Ohm. Die Feldmagnete *B* und *C* sind in Fig. 17 in wirklicher Grösse dargestellt; die Drahtdicke der Windungen war ebenfalls 0,1 mM., der Widerstand zweier zu einem Feldmagnete gehörigen Spulen zusammen betrug etwa 200 Ohm. *C* war mit dem empfangenden Telephon *T*, *B* mit dem Sekundardraht eines Transformators verbunden, dessen Primärdraht in bekannter Weise mit Mikrophon und Batterie verbunden war. Die rotierenden Spulen waren unter sich verbunden wie Fig. 15 zeigt.

Da die Scheibe mit 12 Spulen versehen war, so ergab eine Umdrehung pro Minute 12 Unterbrechungen pro Min. oder $\frac{1}{5}$ pro Sek.

Als ich nun diese Scheibe, bevor die Mikrophonbatterie geschlossen war und das Telephon *T* also absolut stille sein sollte, drehte, so liess sich dennoch im Telephon ein ziemlich kräftiger Ton hören, welcher bei Vergrösserung der Umdrehungsgeschwindigkeit sowohl höher als kräftiger wurde. Dieser Ton, den ich freilich wohl erwartet hatte, wurde selbstverständlich durch den remanenten Magnetismus der Spulen verursacht. Ich hatte sehr weiches Eisen genommen und dafür Sorge getragen dass die Spulen möglichst von magnetisirenden Einflüssen entfernt gehalten wurden. Aber trotz dieser Vorsorge und trotz verschiedener Kunstgriffe ist es mir nicht gelungen diesen Fehler zu beseitigen.

Die mit diesem Apparat erhaltenen Resultate waren folgende:

30 Unterbrechungen pro Sek. Sprechen ist zu verstehen, aber äusserst hässlich und unbrauchbar. — Was man eine „Grabstimme" nennt, vermuthlich durch das Fehlen der Obertöne. — Eine Orgelpfeife von 170 ganzen Schwingungen, F 2., wurde vor dem Mikrophon angeblasen, der im Telephon gehörte Ton war aber sehr verschieden von diesem *F* 2. Mit einer Stimmflöte $a^1 = 440$ D. S. erhielt ich dasselbe Resultat wie mit der Orgelpfeife.

90 Unterbrechungen pro Sek. Sprechen war zu verstehen, aber sehr hässlich und zu tief.

235 Unterbrechungen pro Sek. Sprechen ist teilweise zu verstehen. Ein bekanntes Lied, das vor dem Mikrophon gesprochen wurde, war gut zu verstehen. Eine vor dem Mikrophon gesungene Melodie klang im Telephon sehr komisch, einige Töne kamen in der richtigen Höhe heraus, andere dagegen hatten sich gänzlich geändert und wurden heiser und zu tief. Die Stimmflöte gab im Telephon einen hässlichen klappernden Ton, dessen Höhe ich auf ungefähr $c' = 264$ *D. S.* schätzte. Ich konnte bei dieser Drehungsgeschwindigkeit, als vor dem Mikrophon gesungen wurde, nicht hören ob

mein Assistent, der eine tiefe Bassstimme hat, oder ob meine Frau sang!

273 Unterbrechungen pro Sek. Wie bei 235, aber noch etwas schlechter.

Ich habe danach den Apparat derart umgeändert, dass die hufeisenförmigen Stücken *B* und *C* gar kein Eisen mehr enthielten. Die Resultate waren jedoch nach dieser Umänderung ungefähr dieselben geblieben. Bei 145 Unterbrechungen pro Sek. war Alles ziemlich gut zu verstehen, obgleich der Klang heiser und sehr unschön war. Bei 200 war Alles noch viel hässlicher und schwieriger zu verstehen.

Ich glaubte diese ungünstigen Resultate dem Ton zuschreiben zu müssen, der dem remanenten Magnetismus der Eisenkerne seine Existenz verdankte und der die artikulirten Klänge dermaassen übertönte, dass das Gesprochene unverständlich wurde. Mit dieser Erklärung in Uebereinstimmung war ja auch die Tatsache, dass die Klänge bei langsamer Umdrehung der Scheibe, wobei der schädliche Eigenton schwächer ist, viel besser verständlich waren als beim schnelleren Drehen, obgleich doch bei langsamer Bewegung die Obertöne fortblieben.

Das einzige Mittel, die Richtigkeit dieser Erklärung zu prüfen, besteht darin, dass man sowohl die bewegten als die stillstehenden Spulen ganz ohne Eisen nimmt.

Da aber die gegenseitige Induktion der Spulen durch das Fortlassen des Eisens sehr geschwächt wird, so habe ich für dies Experiment meinen Apparat etwas umgeändert und zwar in der Weise, dass nur *eine* Uebertragung (Translation) stattfand. Der Sekundärdraht des Transformators (Fig. 18) wurde mit den beiden hinter einander geschalteten Feldmagneten *B* und *C* verbunden. Die bewegten Spulen waren ebenfalls alle hinter einander geschaltet; der Anfang der ersten Spule war mit einem Metallring verbunden, der isolirt auf der Drehungs-Achse befestigt war; ebenso war das Ende der letzten Spule mit einem solchen Ring verbunden. Auf diesen Ringen machten 2 mit dem Telephon *T* verbundene Kohlebürsten Kontakt. Fig. 19 zeigt schematisch, wie man sich diese Einrichtung für das Erzielen einer Doppeltelephonie würde denken müssen.

Wie zu erwarten war, gab die in Fig. 18 skizzirte Einrichtung keinen Eigenton: so lange das Mikrophon in Ruhe war, war im Telephon nichts zu hören.

Beim ersten mit diesem Apparate gemachten Versuch fanden 220 Unterbrechungen pro Sek. statt. Das Sprechen war im Telephon

sehr gut zu verstehen, aber es klang sehr hässlich. Dennoch war es bedeutend besser als ich es je mit dem Apparat mit Eisenkernen bekommen hatte; ich erinnere mich dass mein Assistent, als er die artikulirten Laute zum ersten Male aus diesem eisenfreien Apparat hörte, mir gratulirte zu dem guten Erfolg. Von einem in das Mikrophon gesungenen Lied kamen jedoch nur einige Töne in der richtigen Höhe im Telephon heraus, die meisten kamen in ganz anderer Tonhöhe heraus. Mit anderen Geschwindigkeiten erhielt ich folgende Resultate:

67 Unterbrechungen pro Sek. Sprechen sehr dumpf, wenig Nebengerausch, verständlich. Es fehlen offenbar die Obertöne.

100 Unterbrechungen pro Sek. Sprechen wie oben, aber etwas leichter zu verstehen. Singen sehr schlecht.

172 Unterbrechungen pro Sek. Sprechen ziemlich gut, ungefähr so wie beim ersten Versuch mit 220 Unterbrechungen. Singen weniger gut als bei 220.

Wie man sieht, finden wir denselben Fehler, den wir mit dem Apparat mit Eisen bekamen, ebenfalls wieder bei dem eisenfreien Instrument. Der Unterschied ist nur quantitativ.

Ich glaube diese nicht von mir erwartete Erscheinung auf folgende Weise erklären zu können:

In Fig. 20 bedeuten *a a* die 2 festen Spulen und *b* eine der rotierenden Spulen. Es wird vor dem Mikrophon ein Ton von konstanter Intensität hervorgebracht; das Mikrophon ist in der üblichen Weise mittels des Transformators mit den *a a* Spulen verbunden. An einem mit *b* verbundenen Telephon wird gehört. Beim Anfang des Versuchs liegt die Achse der Spule *b* in der Linie *AA*, und jetzt schieben wir, während das Telephon an das Ohr gehalten wird, *b* von *E* nach *F*, und zwar derart dass die Achse von *b* der Linie *AA* stets parallel bleibt. Wir hören dann im Telephon Folgendes:

Von *AA* bis *BB*. Der Ton behält die selbe Intensität.

„ *BB* „ *CC* „ „ wird immer schwächer und ist = 0 wenn die Achse von *b* ungefähr in der Linie *CC* liegt.

„ *CC* „ *DD* „ „ wird kräftiger, ist aber auch bei *DD* immer noch bedeutend schwächer als auf der Strecke *AA*—*BB*.

Von *DD* aus weiter schiebend, wird der Ton stets schwächer bis er schliesslich nicht mehr wahrgenommen wird.

Dies Experiment lehrt uns in Bezug auf die Komponente der Feldstärke in der Richtung des Pfeiles:

Von *AA* bis *BB* ist das Feld (wir wollen sagen) + und homogen.
„ *BB* „ *CC* „ „ „ + und wird stets schwächer.
Auf der Linie *CC* ist die Feldstärke = 0.
Von *CC* bis *DD* ist das Feld — und wird fortwährend stärker.
Von *DD* weiter in der Richtung *EF* gehend, bleibt das Feld — und wird stetig schwächer.

Wenn die Spule *b* in eine solche Lage kommt, dass ihre Achse der Linie *CC* sehr nahe liegt, so kann es vorkommen dass eben so viele + als — Kraftlinien durch *b* gehen; in dem Augenblick ist also die Induktion in *b* = 0.

Wenn wir einen konstanten Strom in den Spulen *aa* annehmen, so können wir uns die Feldstärke also ungefähr charakterisiert denken durch die in Fig. 21 skizzirte Kurve.

Nehmen wir jetzt an dass ein *Sinusstrom* in den Spulen *aa* fliesst, so wird die Feldstärke in jedem Punkte des *zwischen den beiden Spulen aa liegenden* Raumes durch eine Sinusfunktion dargestellt werden können und diese Feldstärke wird in jedem Punkte dieses Raumes in jedem willkürlichen Augenblick denselben Wert haben.

Es befinde sich nun die Spule *b* in einem gewissen Momente mit der Mitte ihrer Achse in einem Punkt *p* 1, der in dem Raum zwischen den beiden Spulen *aa* und auf der Linie *EF* liegt, und es werde *b* in dieser Lage von *n* 1 Kraftlinien durchschnitten. Jetzt verschieben wir *b* nach einem Punkt *p* 2, ebenfalls auf *EF* und zwischen *AA* und *BB* gelegen. In dem Augenblicke in dem *b* dort ankommt wird sie von *n* 2 Kraftlinien durchschnitten. Aber wenn *b* im Punkt *p* 1 geblieben wäre, so würde sie, im Augenblick, in welchem sie jetzt in *p* 2 ankommt, *ebenfalls* von *n* 2 Kraftlinien durchschnitten werden. Es folgt daraus dass der von *a* in *b* induzirte Strom ganz derselbe ist, gleichgültig ob *b* auf der Linie *EF*, *zwischen AA und BB*, bewegt wird, oder ob *b* stillsteht.

Es erhält daher das Telephon während der Bewegung *AA*—*BB* den gewünschten Sinusstrom.

Wenn sich aber die Spule *b* zwischen *BB* und *CC* bewegt, so haben wir einen ganz anderen Fall.

Nehmen wir an *b*, oder — genau genommen — der Mittelpunkt ihrer Achse, befinde sich in einem Punkte *p* 3 auf der Strecke *BB*—*CC* und umfasse in dem Augenblick *n* 3 Kraftlinien. Verschieben wir dann *b* zu einem sehr nahen ebenfalls auf der Strecke *BB*—*CC* liegenden Punkt *p* 4, so wird *b* in dem Augenblick in

welchem sie in *p* 4 ankommt von einer Anzahl Kraftlinien *n* 4 durchschnitten werden. Die Aenderung in der Anzahl der Kraftlinien in der kurzen Bewegungszeit ist also *n* 4—*n* 3 und damit ist der in *b* induzirte Strom proportional.

Wäre *b* jedoch in *p* 3 geblieben, so würde sie in dem Moment, in dem sie jetzt in *p* 4 anlangte, *nicht* von *n* 4 sondern von wir wollen sagen *n* 5 Kraftlinien durchschnitten sein. Denn auf der Strecke *BB*—*CC* hat die Feldstärke in jedem Augenblick in sämmtlichen Punkten einen *verschiedenen* Werth. Der während der Bewegung von *p* 3 nach *p* 4 in *a* induzirte Strom ist also proportional mit *n* 4—*n* 3 und *nicht* mit *n* 5—*n* 3, was doch der Fall sein müsste um in *b* den gewünschten Sinusstrom zu erhalten.

Der Strecke *BB*—*CC* in Fig. 20 *unter* den Spulen entspricht auch eine solche *über* denselben, (*AA*—*GG*). Es entsteht also in den rotierenden Spulen jedesmal wenn sie sich den Feldmagneten nähern und wenn sie sich davon entfernen ein Strom, der nicht der gewünschte Sinusstrom ist, sondern eine zusammengesetzte Funktion 1. der Schwingungsdauer des vor dem Mikrophon hervorgebrachten Tones, 2. der in Fig. 21 skizzirten Kurve *CB*, und 3. der Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe. Der Nebenton, der durch diese fehlerhaften Ströme entstcht, wird also, was seine Tonhöhe anbetrifft, mit der Umdrehungszeit der Scheibe zusammenhängen.

Wir werden also *n* 5—*n* 4 in gewissem Sinne als Maass betrachten können für die Abweichung, die zwischen dem im Telephon gehörten Tone (über die Strecke *BB*—*CC*) und dem gewünschten einfachen Tone besteht.

Diese schädliche Abweichung wächst mit der Intensität des vor dem Mikrophon hervorgebrachten Tones, wie sich aus dem Folgenden ergiebt:

Es sei *a b c d* (Fig. 22) die Kurve, die in einer gewissen Phase des Sinusstromes die Feldstärke darstellt. Wenn wir jetzt den Ton vor dem Mikrophon derart verstärken, dass die Stromstärke sich verdoppelt, so wird die Feldstärke in derselben Phase durch die Kurve *A b C D* dargestellt werden können, bei welcher sämmtliche Ordinaten zweimal so gross sind als bei *a b c d*.

Wir betrachten nun zuerst den in der sich bewegenden Spule induzirten Strom während der schwächere Ton, wozu die Kurve *a b c d* gehört, vor dem Mikrophon hervorgebracht wird. Während die Spule *b* sich in *p* 3 befindet, wird sie von *n* 3 Kraftlinien durchschnitten: der Wert *n* 3 ist der Ordinate *p* 3 *e* proportional.

Einen Augenblick später kommt *b* nach *p* 4 und wird von *n* 4 Kraftlinien durchschnitten. In diesem Augenblicke ist jedoch die

Feldstärkekurve wieder anders; wir wollen sie durch die punktirte Kurve darstellen. $n\,4$ ist nun mit $p\,4\,f$ proportional. Wäre die Spule b in $p\,3$ geblieben, so würde sie in dem Momente, in dem sie jetzt in $p\,4$ anlangt, von $n\,5$ Kraftlinien durchschnitten werden, wobei $n\,5$ der Ordinate $p\,3\,g$ proportional ist. Es ist also:

$$n\,5 - n\,4 = C(p\,3\,g - p\,4\,f)$$

Es ist klar, dass, wenn wir diese Ordinate für die Kurve $A\,b\,C\,D$ konstruiren, wir für $n\,5 - n\,4$ einen zweimal so grossen Wert finden werden, woraus also folgt dass die schädliche Abweichung mit der Intensität des Tones wächst.

Je rascher die Scheibe sich dreht, desto kürzer ist die Zeit, in welcher b die Entfernung zwischen $p\,3$ und $p\,4$ zurücklegt, und da der induzirte Strom mit $\frac{d\,n}{d\,t}$ proportional ist, wobei n die Anzahl der Kraftlinien bedeutet, so wird beim schnelleren Drehen der störende Einfluss sich auch stärker bemerkbar machen. Und da man für höhere Töne schneller drehen *muss*, so ist es klar dass diese sich schlechter reproduziren lassen, was durch das Experiment vollkommen bestätigt wird.

Ausserdem giebt es noch eine zweite Ursache, wesshalb bei rascher Drehung der störende Einfluss grösser sein wird. Wenn wir die Scheibe n mal schneller drehen, so wird die Dauer des in b induzirten gewünschten Sinusstroms n mal kleiner werden. Aber die Dauer des fehlerhaften Stromes wird nicht n sondern $(n-m)$ mal kleiner werden, wobei m eine positive Grösse ist. Denn gerade durch die grössere Geschwindigkeit wird jetzt der fehlerhafte Ton hörbar sein wenn b sich in einem Theile des Feldes bewegt, in dem früher dieser Ton bei der langsameren Bewegung zu schwach war, um wahrgenommen zu werden.

Eine dritte Ursache des Undeutlichwerdens bei rascher Drehung könnte schliesslich noch folgende sein. Bei sehr rascher Drehung ist es möglich, dass die während der Bewegung von GG—AA (Fig. 20) im Telephon erregten Schwingungen eine bedeutend grössere Amplitude haben als die auf der Strecke AA—BB erregten Sinusschwingungen. Es wird in dem Falle eine gewisse Zeit dauern bis die Telephonmembran nach dem Eintritt der Spule b in das homogene Feld (zwischen AA und BB), die richtige Schwingungsform erreicht hat. Ist die Drehung sehr rasch, dauert also die Bewegung über den Weg AA—BB nur sehr kurze Zeit, so kann

es ja vorkommen dass die Membran die richtige Schwingungsform noch nicht erreicht hat, wenn *b* (Fig. 20) schon das homogene Feld verlassen hat und sich auf dem Weg zwischen *BB* und *DD* befindet. In dem Falle würde man also von den gewünschten Sinusschwingungen gar nichts aus dem Telephon hören; von einer Artikulation wäre in diesem Fall selbstverständlich gar keine Rede.

Wir sahen S. 18 dass der fehlerhafte Strom jedesmal ensteht wenn die sich drehenden Spulen sich den Feldmagneten nähern und wenn sie sich davon entfernen. Wir zogen daraus den Schluss, dass der Nebenton, wodurch sowohl die Artikulation des gesprochenen Wortes als die Melodie der vor dem Mikrophon gemachten Musik entstelt wurde, was die Tonhöhe betrifft mit der Umdrehungszeit der Scheibe würde zusammenhängen müssen. [1])

Diese Annahme wird durch die folgenden Experimente vollkommen bestätigt:

Die in Fig. 18 skizzirte Einrichtung wurde insofern umgeändert, als man durch das Herunterdrücken zweier Morsetaster den Strom einer Batterie von 9 Akkumulatoren in den Sekundärdraht des Transformators und in die Feldmagnete *B* und *C* senden konnte. Die Scheibe machte beim Anfang des Experiments 492 Touren pro Min. und beim Ende 506, wir können also für das Mittel 500 annehmen. Es wurde nun die Tonleiter *A*—*a* (110—220 D.S.) vor dem Mikrophon gesungen und zwar folgendermassen: es wurde einige Sekunden lang *A* gesungen, darauf hörte der Sänger ungefähr eine eben so lange Zeit mit singen auf. Während dieser Ruheperiode drückte der Hörer, der fortwährend ein Telephon am Ohr hatte, auf die beiden Morsetaster. Wenn der Sänger, der auch ein Telephon am Ohr hielt, am „klick" hörte dass die Taster wieder losgelassen waren, sang er wieder einige Sekunden das *A* und so fort bis 4 Mal. Dasselbe geschah mit *B*, *cis*, u. s. w. bis *a*.

Der Ton, der im Telephon gehört wurde wenn die Taster niedergedrückt waren (wir wollen ihn den Eigenton des Apparats nennen), wurde auf ungefähr *a* (220 D.S.) geschätzt.

Es ergab sich nun, dass alle vor dem Mikrophon gesungenen Töne ungefähr wie dieser Eigenton des Apparats klangen.

---

[1]) Schon lange bevor ich die Erklärung der mangelhaften mit diesem Apparate erzielten Artikulation gefunden hatte, hatte Herr Dr. M. de Haas, Professor an der hiesigen Technischen Hochschule, der die Freundlichkeit hatte einige Male meinen Versuchen beizuwohnen, schon die Bemerkung gemacht, dass er in Allem, was er aus meinem Apparate heraushörte, stets einem dominirenden Ton zu hören meinte, dessen Höhe sich mit der Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe änderte.

Als danach die Tonleiter *A—a* in der gewöhnlichen Weise gesungen wurde, also jeder Ton nur einmal und ohne Herunterdrücken der Taster, da war das Resultat ein wenig abweichend. Das *gis* und *a* wurde verstärkt im Telephon gehört, *A*, *b* und *cis* wurden auch gehört, das *e* nur sehr schwach. Von einem vor dem Mikrophon gesungenen Liede kamen nur einige Töne richtig an; die meisten waren jedoch entstellt. Sprechen war gut zu verstehen, obgleich es zu tief und heiser aus dem Telephon herauskam; das wurde offenbar dadurch verursacht dass für verschiedene Obertöne der Vokale zu langsam gedreht wurde, wie aus Folgendem erklärlich wird: 500 Umdrehungen pro Minute entsprechen 100 Unterbrechungen pro Sekunde, was also eine Ruhepause von $\frac{1}{200}$ Sekunde ergiebt. Es folgt aber aus der Mayer'schen Formel, dass die Ruheperiode *D* für die verschiedenen Vokale nicht grösser sein darf als:

	A	*E*	*I*	*O*	*U*	(Holländisch ausgesprochen.)
$D >$	$\frac{1}{190}$	$\frac{1}{281}$	$\frac{1}{315}$	$\frac{1}{117}$	$\frac{1}{56}$	Sekunde.

Für die karakterisirenden Obertöne der Vokale *E* und *I* drehte sich also die Scheibe viel zu langsam; ausserdem ist es gar nicht unmöglich, dass für eine gute Artikulation noch höhere Obertöne erforderlich sind als der Oberton $f'''' = 2376$ D. S. des Vokals I.

Wir sehen also aus diesen Ergebnissen dass der Eigenton der Scheibe derart über die anderen Töne dominirt, dass diese ihren Charakter ganz verlieren, wodurch gesungene Melodien ganz enstellt übertragen werden. Das gesprochene Wort scheint von der Entstellung bei dieser geringen Drehgeschwindigkeit weniger beeinflusst zu werden, es geht wenigstens die Verständlichkeit nicht verloren.

Da, wie wir früher schon sagten, ein Impuls ensteht wenn die rotierenden Spulen sich den Feldmagneten nähern und ebenfalls wenn sie sich von ihnen entfernen, so wird der Eigenton unserer mit 12 Spulen versehenen Scheibe bei 500 Touren pro Minute $\frac{500 \times 12 \times 2}{60}$ oder 200 D. S. pro Sekunde betragen müssen. Es stimmt dies ziemlich gut mit der Schätzung überein, da das geschätzte *a* 220 D. S. macht. Der kleine Unterschied in der Tonhöhe kann dadurch erklärt werden, dass die durch einen Gasmotor getriebene Scheibe sich nicht vollkommen regelmässig drehte. Es zeigte auch

der Eigenton ein regelmässiges Ansteigen und Fallen was mit der Viertaktbewegung des Motors übereinstimmte.

Es ist ohne weiteres klar, dass derselbe Fehler, der die elektromagnetische Methode für die Praxis der Doppeltelephonie unbrauchbar macht, sich auch bei der elektrostatischen Methode zeigen wird. Denn die Feldstärke in der Nähe der elektrostatisch geladenen Zähne des in Fig. 9—10 dargestellten Apparats wird ebenfalls durch eine Kurve, ungefähr wie Fig. 21 zeigt, abgebildet werden können. Nur wird bei Anwendung der elektrostatischen Induktion die Feldstärke nicht negativ werden, die Kurve also die Achse nicht schneiden.

Bei der in Fig. 5 skizzirten Vorrichtung erklärte ich die Unbrauchbarheit des Klanges aus der Tatsache, dass beim Anfang und beim Ende der Klangperiode jedesmal eine kurze Zeit bestand, in welcher das Telephon nicht die gewünschten Schwingungen ausführte. (Seite 10.) Bei dem Apparat von Fig. 15 gab ich dieselbe Erklärung.

Es kan mir jedoch nachher wahrscheinlich vor, dass die Abweichung von der richtigen Schwingungsform beim elektromagnetischen Apparat (Fig. 15) viel grösser sein müsste als beim Unterbrechungsapparat, (Fig. 5). Beim elektromagnetischen Apparat ist es ja möglich, dass bei rascher Drehung die Amplitude des fehlerhaften Klanges, der im nichthomogenen Theile des Feldes entsteht, *grösser* ist als die Amplitude des gewünschten Klanges, der im homogenen Theile des Feldes, zwischen den Spulen *a a* (Fig. 20) ensteht. Beim Unterbrechungsapparat sind jedoch die ungewünschten Vor- und Nachschwingungen der Telephonmembran stets *kleiner* als die Sinus-Schwingungen, die das Telephon macht in der Zeit, in welcher die Federn Kontakt mit der Scheibe machen.

Und da man dennoch mit dem elektromagnetischen Apparat *wohl*, mit dem Unterbrechungsapparat dagegen *gar keine* verständlichen Laute bekommt, so kam mir nachher der Gedanke, dass meine Erklärung der schlechten Wirkung des Unterbrechers doch nicht ganz richtig sein könnte.

Die Ursache des Fehlers könnte auch wohl teilweise in der Reibung der Kontaktfedern oder Rollen auf den Hartgummisegmenten liegen. In diesem Falle wäre es zu empfehlen, den Apparat derart umzuändern, dass die Kontaktfedern stets auf Metall liegen; die

Hartgummisegmente wären dann durch *todte* Metallsegmente zu ersetzen.

Es schien mir aber besser einen Versuch mit dem bekannten Turbinenunterbrecher der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft zu machen. Man ist bei diesem Apparat von Reibung und Abnutzung von Metall auf Metall oder Kohle auf Metall gänzlich frei, was nur ein grosser Vorteil sein kann.

Bevor ich jedoch mit dem Turbinenunterbrecher zu experimentiren anfing, habe ich noch versucht ob es, *unabhängig von elektrischen Einflüssen*, möglich wäre bei 160 Unterbrechungen pro Sek. (genügend für dem Vokal I) eine gute Artikulation zu erhalten. Ich schnitt dazu ein Sprachrohr entzwei und stellte in der Schnittöffnung eine durchlöcherte Scheibe auf, welche darin gedreht werden konnte. Um den „violent agitations" (S. 6) vorzubeugen, wurden die Löcher in der Scheibe so wie die daran grenzenden Oeffnungen der Sprachrohre mittels Goldschlägerhaut abgeschlossen. Es war mir jedoch nicht möglich durch diese 4 hinter einander aufgestellten Membrane, die einen Durchmesser von 10 mM. hatten, einen Laut zu hören. Da bei grösserem Durchmesser der Membrane der Apparat zu gross werden würde, habe ich die Versuche in dieser Richtung nicht fortgestetzt.

Auf Seite 8—9 habe ich eine Methode angegeben, nach welcher ich versuchte meinen Zweck dadurch zu erreichen, dass ich die Linie unterbrach und wieder schloss in den Augenblicken, in welchen sie stromlos war.

Es giebt aber ein weit einfacheres Mittel, wobei man *nur* Kurzschluss benützt und wobei Schliessen und Oeffnen der Linie ganz überflüssig ist, wie in Fig. 23 schematisch angedeutet ist. So lange *a b* und *c d* geschlossen sind, bekommt 4 Strom von 3. Sind dagegen *b e* und *e f* geschlossen, so erhalten 1 und 2 Strom von einander.

Man würde auf diese Weise schon mit nur einem Unterbrecher an jeder Station für Doppeltelephonie auskommen (vergl. Fig. 24). Dieser Unterbrecher muss dann aber 2 Quecksilberstrahlen geben, oder einen breiten Strahl, damit nicht 2 Ströme (z. B. *a b* und *b e*, Fig. 23) zugleicherzeit unterbrochen seien. Mit einem schmalen Quecksilberstrahl würde das *wohl* der Fall sein können, wenn nämlich der Strahl ein Segment verlassen und das andere noch nicht erreicht hat.

Der wohlbekannte Turbinenunterbrecher, met welchem die unten beschriebenen Versuche gemacht wurden, ist zweifelsohne ein aus-

gezeichnetes Instrument. Ich hatte mir bei diesem Apparat verschiedene Kontaktringe angeschafft, und zwar solche mit 2 4 6 8 und 12 Ausschnitten, um weit aus einander liegenden Unterbrechungszahlen zu bekommen. Die Ausschnitte hatten bei sämtlichen Ringen denselben Winkelwerth wie die Kontakte. Dieser Unterbrecher wurde nun als Brücke zwischen 2 Telephonlinien aufgestellt, also etwa wie es mit dem Rade *f* in Fig. 6 der Fall war. Es ergab sich jedoch sofort, dass der drehende Unterbrecher selber einen sehr störenden Ton in dem Telephon erzeugte. Es bildet offenbar die (vernickelte) rotierende Stahlscheibe mit dem (vernickelten) kupfernen Kontaktring und dem Alcohol, in welchem beide sich befanden, ein galvanisches Element. Dreht sich der Apparat, so ist dies Element in sich selbst geschlossen so lange der Quecksilberstrahl Kontakt macht zwischen der rotierenden Scheibe und dem Kupferring; und so lange sendet es also keinen Strom in das Telephon. So wie aber der Quecksilberstrahl durch einen Ausschnitt des Kupferringes spritzt, ist der innere Kurzschluss des Elements unterbrochen und das Telephon erhält Strom.

Dass diese Erklärung die richtige ist, zeigte folgender Versuch: es wurde der stillstehende Unterbrecher mit einem Telephon und einem Neef'schen Hammer verbunden. So wie dieser letztere in Schwingungen gebracht wurde, war ein sehr deutlicher Ton im Telephon zu hören. [1])

Um davor sicher zu sein, dass dieser Ton seine Entstehung nicht der Induktion durch den in der Nähe der Linie befindlichen Elektromagneten verdankte, wurden die beiden Klemmschrauben des Turbinenunterbrechers durch einen Metalldraht mit einander verbunden: der Ton war damit sofort verschwunden.

Der obengenannte Fehler des Unterbrechers liess sich dadurch leicht vermeiden dass ich denselben mit Petroleum statt mit Alkohol füllte, es herrschte danach in einem mit dem drehenden Unterbrecher verbundenen Telephon vollkommene Stille. Auch erzeugte jetzt der mit einem Telephon und dem schwingenden Neef'schen Hammer verbundene stillstehende Turbinenunterbrecher gar keinen Ton im Telephon.

Bei den ersten Experimenten, die ich mit diesem Unterbrecher machte, waren die Resultate sehr verschieden und desswegen unzu-

---

[1]) Es wurde selbstverständlich zu diesem Versuch ein sogenannter Doppelunterbrecher gebraucht, d. h. ein solcher mit 2 von einander unabhängigen Unterbrechungsvorrichtungen, wovon die eine nur dazu dient, den Stromkreis zu öffnen und zu schliessen in welchem sich der Elektromagnet und die ihn betätigende Batterie befindet.

verlässig. Während ich das eine Mal bei einer gewissen Unterbrechungszahl sehr schöne Klänge in dem Telephon erhielt, ungefähr eben so gut wie bei der gewöhnlichen Telephonie, bekam ich ein anderes Mal bei derselben Unterbrechungszahl sehr hässliche und fast ganz unverständliche Laute. Ich konnte zur Erklärung dieser Erscheinung nur annehmen, dass der Unterbrecher gar nicht funktionirte, wenn das Telephon so sehr deutlich sprach! Um mich nun stets davon überzeugen zu können, dass bei meinen Experimenten der Unterbrecher wirklich einen periodischen Kurzschluss bildete, traf ich die in Fig. 25 skizzirte Einrichtung: *a* und *b* sind die Klemmschrauben des Turbinenunterbrechers, welche also mit einander verbunden sind in den Augenblicken wo der Quecksilberstrahl den Kontaktring trifft. *f* ist der Anker eines Relais, welcher im Ruhezustande stets mit der Schraube *c* in Kontakt ist. Befindet sich das Relais in dieser Lage und wird in Station II gesprochen, so gehen die Telephonströme während der Periode, in welcher das Quecksilber auf den Kontaktring spritzt, von *b* nach *a*, durch den Anker *f* über *c*, *d* und *e*, und so zurück nach Station II. Da dieser Weg *b a f c d e* einen äusserst geringen Widerstand hat, so erhält das in Station I befindliche Telephon während dieser Periode (praktisch) keinen Strom.

In Station I befindet sich ausserdem noch ein Flammentelephon *V* [1]) (vergl. auch Fig. 26) das mit einer Batterie *h* zwischen die Kontaktklemme *g* und Punkt *i* der Telephonleitung geschaltet ist. Vor dem Flammentelephon ist ein von einem Elektromotor getriebener drehender Spiegel aufgestellt; ausserdem befindet sich in Station I noch ein Morsetaster, der mit einer Batterie und mit dem Elektromagnet *K* des Relais verbunden ist. Den drehenden Spiegel, den Morsetaster und die Batterie mit der Leitung nach *K* habe ich, um die Figur nicht undeutlich zu machen, nicht gezeichnet.

Wenn jetzt der Beobachter in Station I seinen Morsetaster herunterdrückt, so wird der Relaisanker angezogen und Kontakt mit *g* bilden. Falls nun der Unterbrecher richtig funktionirt, so wird die Batterie *h* einen intermittirenden Strom in die Leitung *h g f a b i V* senden und der Beobachter wird sich am Flammenbild im rotierenden Spiegel jeden Augenblick davon überzeugen können.

Die Umdrehungsgeschwindigkeit des Unterbrechers wurde auf folgende Weise bestimmt: Auf die Achse des Unterbrechers war ein kleines Uhrrad von 24 Zähnen aufgesteckt, gegen welches eine Visitenkarte leise angedrückt wurde. Aus der Höhe des so entstan-

---

[1]) Phys. Zeitschrift, 2 Jahrgang, No. 47, S. 676.

denen Tones liess sich durch eine einfache Rechnung die Unterbrechungszahl finden.

Die auf diese Weise erhaltenen Resultate waren folgende:

46 Unterbrechungen pro Sek. Grabstimme, aber Alles ziemlich gut zu verstehen. Von einer gesungenen Melodie kamen sämmtliche Töne ziemlich in *einer* Tonhöhe herüber. Eine Stimmgabel $F3 = 340$ D. S. wurde vor dem Mikrophon aufgestellt. Nach MAYER's Formel sollte diese mit 47 Wechsel pro Sek. einen ruhigen Ton geben. Man hörte jedoch vom Eigenton der Gabel ungefähr gar nichts, wohl aber einen sehr tiefen Ton, den ich auf ungefähr $b = 124$ D. S. schätzte.

77 Unterbrechungen pro Sek. Dasselbe wie bei 46; auch jetzt schien die Stimmgabel den Ton *b* zu geben.

82 Unterbrechungen pro Sek. Grabstimme, Alles ziemlich gut zu verstehen. Von einer gesungenen Melodie waren nur 3 Töne von einander zu unterscheiden, die jeder ungefähr einen Halbton aus einander lagen. Einen sehr merkwürdigen Eindruck machte es, wenn man unmittelbar nach einander die Klänge ohne Obertöne und danach die gewöhnlichen Telephonklänge abhörte. Es wurde dazu die Leitung vom Flammentelephon zur Batterie *h* (Fig. 25) während einer kurzen Zeit unterbrochen und danach der Morsetaster hinunter gedrückt, wodurch der Relaisanker den Kontakt mit *c* löste.

110 Unterbrechungen pro Sek. Sprechen sehr hässlich und schwer zu verstehen, schwieriger als bei 82. Nur mit Aufmerksamkeit ist der grösste Teil zu verstehen. Singen sehr hässlich.

165 Unterbrechungen pro Sek. Sprechen grössenteils zu verstehen, jedoch so hässlich, dass es nicht brauchbar ist. Es schien mir etwas leichter zu verstehen als bei 110.

220 Unterbrechungen pro Sek. Sprechen sehr schlecht, nur wenige Wörter werden verstanden. Von einer gesungenen Melodie waren mehr Töne zu unterscheiden als bei 82, dennoch war es sehr schlecht.

330 Unterbrechungen pro Sek. Kein Wort zu verstehen.

Ich habe hiernach noch folgende 2 Experimente gemacht, wobei die Telephonströme während der Kurzschlussperioden nicht auf 0 reduzirt waren, sondern zwar schwach, aber doch noch verständlich blieben. Ich brachte dazu in den Kurzschlusszweig *c d e* (Fig. 25) einen Widerstand von 10 Ohm. Während der Unterbrecher nun in Ruhe war und seine beiden Klemmschrauben durch einen Kupferdraht mit einander verbunden waren, konnte man im Telephon Alles gut verstehen, wenn auch die Klänge sehr schwach waren. Der Kupferdraht wurde darauf entfernt und der Unterbrecher

in Bewegung gesetzt. Bei 140 Unterbrechungen war Alles jetzt viel besser verständlich als früher ohne diese 10 Ohm im Kurzschluss, aber schön war es immer noch nicht. Bei 100 statt 10 Ohm im Kurzschluss war Alles Gesprochene im Telephon beinahe eben so gut als bei der gewöhnlichen Telephonie, Singen war jedoch noch ziemlich schlecht.

Da man sich schwerlich einen besseren Unterbrecher als den Turbine-Interruptor denken kann, so glaube ich aus dem obengenannten Resultate schliessen zu dürfen, dass eine Duplex-oder Multiplex-Telephonie mit *plötzlich* unterbrochenen Strömen zu den Unmöglichkeiten gehört. Auch bei jenen Experimenten, wo Alles ziemlich gut zu verstehen war, waren die Klänge so unangenehm, dass von einer Einführung in die Praxis gar keine Rede sein kann.

Die Erklärung der nach dieser Methode erzielten schlechten Resultate ist zweifelsohne die, welche ich Seite 10 schon gab, nämlich dass die Bewegung der Telephonmembran beim Anfang sowohl als am Ende der Klangdauer während einer kurzen Periode nicht mit den von der anderen Station kommenden Telephonströmen übereinstimmt. Die Dauer dieser Vor- und Nachschwingungen, wie wir sie einfachheithalber nennen wollen, ist von der Unterbrechungszahl der Telephonströme unabhängig. Nehmen wir diese Zahl sehr gross, und wird also die Klangperiode sehr kurz, dann ist es denkbar, dass die Zeit, die die Membran braucht um beim Anfang der Klangperiode in die richtige Schwingungsform zu geraten, eben so gross oder grösser ist als die Klangperiode selbst. Auf diese Weise würden wir also aus dem Telephon nichts heraus bekommen als die Vor- und Nachschwingungen, während von denjenigen Schwingungen, um welche es uns eigentlich zu tun ist, nichts zu hören sein würde.

Diese Erklärung stimmt auch mit der Tatsache überein, dass z. B. bei 330 Unterbrechungen gar nichts zu verstehen ist, während bei z. B. 46 Unterbrechungen Alles ziemlich gut verstanden wird, obgleich bei dieser langsamen Bewegung des Unterbrechers die Obertöne gänzlich fehlen.

Wenn das Telephon nur zu schwachen Tönen angeregt wird, so wird die Dauer der Vor- und Nachschwingungen kürzer sein. Wenn man also bei einer gewissen Unterbrechungszahl und unter Benützung kräftiger Telephonströme das vom Telephone gesprochene nur mangelhaft versteht, so könnte man erwarten dass man mit schwächeren Telephonströmen bei derselben Unterbrechungszahl eine bessere Verständigung würde erreichen können. Um diesen Versuch

zu machen, schaltete ich einen Morse Taster und einen Bifilarwiderstand von 50 Ohm zwischen Mikrophon und Primärdraht des Transformators. Wurde der Taster heruntergedrückt, so befanden sich diese 50 Ohm in der Primärleitung, wodurch die in der Sekondärleitung induzirten Telephonströme bedeutend geschwächt wurden.

Herr Prof. DE HAAS [1]) hatte die Güte, diese Experimente mitzumachen. Die auf diesem Wege von uns erzielten Resultate waren folgende:

1. Bei 330 Unterbrechungen war kein einziges Wort zu verstehen, gleichgiltig ob der Taster herunter gedrückt war oder nicht.

2. Bei 220 Unterbrechungen war dann und wann mal ein Wort zu verstehen; ob der Taster herunter gedrückt war oder nicht, machte gar keinen Unterschied.

3. Bei 165 Unterbrechungen meinte Herr DE HAAS, dass das Telephon merkbar deutlicher sprach als der Taster niedergedrückt war. Ich dagegen verstand das Gesprochene bequemer, wenn der Taster nicht niedergedrückt war. Dieser Unterschied in der Beobachtung ist auf zweierlei Weise zu erklären: 1. ist meine Gehörschärfe etwas unter der normalen und 2. bin ich durch meine vieljährigen Experimente mehr als Prof. DE HAAS daran gewöhnt, qualitativ schlechte Laute noch zu analysieren. Einen endgültigen Beweis für die Annahme, dass schwächere Klänge bei 165 Unterbrechungen besser verständlich sind als stärkere kann man freilich nicht aus diesem einen Versuch herleiten, höchstens ergiebt sich daraus die *Wahrscheinlichkeit* für die Richtigkeit der Annahme.

Wenn wir das Bell Telephon in Station I Fig. 25 ersetzen könnten durch irgend einen telephonischen Empfänger, dessen schwingender Teil passiver und weniger steif als die Telephonmembran ist, so könnten wir erwarten, dass die Vor- und Nachschwingungen bei diesem Apparat kürzere Zeit dauern würden als es beim Telephon der Fall ist. Wir würden daher vielleicht bei einer Unterbrechungszahl, die zu gross ist, um das Bell Telephon noch

---

[1]) Herr DE HAAS hatte auch die Güte, mit meinem Apparate die auf S. 26 beschriebenen Experimente in Bezug auf die Verständlichkeit des gesprochenen Wortes mit Unterbrechungszahlen von 46—330 pro Sek. zu wiederholen. Er erhielt genau dieselben Resultate wie ich sie bekommen hatte, nur mit dem kleinen Unterschied, dass er das Sprechen bei 165 Unterbrechungen nicht deutlicher verstand als bei 110, während das bei mir wohl der Fall war. Dieser Unterschied ist jedoch von keiner prinzipiellen Bedeutung, da vielleicht in einem Fall etwäs deutlicher vor dem Mikrophon gesprochen wurde als im anderen Fall. Ausserdem funktionirt das Mikrophon nicht immer gleich gut.

deutlich sprechen zu lassen, mit diesem passiveren Empfänger noch verständliche Resultate erhalten können.

Einen solchen Empfänger besitzen wir im sprechenden Kondensator; die Papierblätter und die Zinnfolie sind unzweifelhaft viel schlaffer und passiver als die Telephonmembran. Das mit einem solchen Apparat gemachte Experiment bestätigte vollkommen die Richtigkeit dieser Behauptung. Das Telephon in Station I, Fig. 25, wurde durch einen Kondensator mit einer Ladungsbatterie von 21 Volt ersetzt. Da der Kondensator bei einer so geringen Ladespannung dem Bell Telephon an Empfindlichkeit sehr nachsteht, so wurde sehr laut in das Mikrophon in Station II gesprochen; die Mikrophonbatterie bestand aus 2 Akkumulatorelementen. Um die mit dem Telephon und mit dem Kondensator erhaltenen Resultate bequem vergleichen zu können, habe ich sie hierunten neben einander niedergeschrieben.

Kondensator.		Telephon. (vergl. S. 26.)	
Anzahl der Unterbrechungen.		Anzahl der Unterbrechungen.	
165.	Alles gut zu verstehen. Hässlicher Klang.	165.	Grösstenteils zu verstehen. Hässlicher Klang.
220.	Grösstenteils zu verstehen. Hässlicher Klang.	220.	Dann und wann mal ein Wort zu verstehen.
330.	Dann und wann ein Wort zu verstehen.	330.	Gar nichts zu verstehen.

Bei 49 und 73 Unterbrechungen war Alles mit grösster Leichtigkeit im Kondensator zu verstehen, obgleich die Obertöne selbstverständlich dabei fehlten.

Der Kondensator gab bei diesen Experimenten auch einen Ton wenn gar keine Töne vor dem Mikrophon hervorgebracht wurden. Dieser mit der Unterbrechungszahl übereinstimmende Ton war jedoch nicht sehr stark und daher wenig störend. Auch das Telephon in Station II gab denselben Ton, jedoch viel kräftiger. Die Ursache dieser Töne liegt offenbar darin, dass das Papier des Kondensators nicht genügend isolirte, wodurch fortwährend ein Strom der 21 Volt-Batterie durch den Kondensator ging. In den Perioden, in welchen der Kurzschluss geschlossen war, folgte dieser Strom dem Weg *imbafcdeli*. In der Zeit, in welcher der Kurzschluss geöffnet war, war der Stromweg: *imn*, Telephon in Station II, *oeli*. Im ersten Fall hatte dieser Strom (praktisch) nur den Widerstand des Kondensators zu überwinden, im zweiten Fall durchfloss er

dagegen auch noch das in Station II befindliche Telephon. Es war dadurch die Stromstärke bei offenem Kurzschluss grösser als bei geschlossenem Kurzschluss und diese periodische Aenderung der Stromstärke gab im Telephon in Station II einen Ton und ebenso im Kondensator, der periodischen Aenderung der Potentialdifferenz zwischen den beiden Belegungen zufolge.

Ein Glimmerkondensator würde, seiner besseren Isolirung wegen, diesen Eigenton vermutlich nicht geben. Um diesen fortwährend sprechen zu lassen, müsste man dann aber jedesmal die Ladungsbatterie unterbrechen oder umkehren. [1]) Da jedoch das Experiment dadurch ziemlich komplizirt wird, habe ich mit einem solchen Kondensator nicht experimentirt. Wahrscheinlich würde ein Kreuz-Kondensator [2]) mit Glimmerisolirung ohne Umkehrung oder Unterbrechung der Ladungsbatterie und ohne Eigenton eine fortwährende Artikulation geben. Ich hatte jedoch einen solchen Apparat damals nicht zur Verfügung.

Wir haben das Nichtgelingen unserer Versuche, bei plötzlicher Unterbrechung eine gute Sprachübertragung zu erreichen, bisjetzt nur physikalischen Ursachen zugeschrieben. Es ist aber sehr wahrscheinlich, dass auch noch physiologische Erscheinungen darin eine Rolle spielen und somit zur Unbrauchbarkeit der unterbrochenen Klängen beitragen.

Nach König [3]) hört man, wenn man eine Stimmgabel hinter einer durchlöcherten rotierenden Scheibe tönen lässt, ausser dem Eigenton der Gabel, noch 2 andere Töne („les sons de variation") und unter gewissen Umständen kommt sogar noch ein vierter Ton hinzu. („le son d'intermittence").

Um nun zu untersuchen, in wie fern diese physiologische Erscheinung auf die Verständlichkeit der unterbrochenen artikulirten Klänge von Einfluss ist, werden wir unsere Experimente derart einrichten müssen, dass die bisjetzt gefundenen physikalischen Störungen ganz umgangen werden. Die einzige Methode, die ich mir als einigermaassen dazu geeignet denken kann, ist auf der Anwendung von Selenzellen basirt. Denkt man sich eine solche Zelle als Kurzschluss zwischen den beiden Linien und wird sie von einer

---

[1]) Vergl. meinen Aufsatz „Het polariseeren van telefonische ontvangers". Kon. Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, Sitzung vom 27/3 1897. Auch „Archives Néerlandaises", Serie II, T. 1.

[2]) Vergl. meinen Aufsatz „Het gebruik der ladingsbattery in de telefonie", Maandblad voor Natuurwetenschappen, 1885 No. 1 & 2. Auch „Archives Néerlandaises", T. XX.

[3]) Dr. Rudolph Koenig, „Quelques Expériences d'Acoustique", p. 139.

hinter einer sich drehenden Löcherscheibe befindlichen Lichtquelle periodisch beleuchtet, so wird der Schall im Empfänger periodisch schwächer und stärker werden und diese Abschwächung und Verstärkung wird hier nicht plötzlich sondern allmählich stattfinden. Verursacht die Selenzelle bei dieser intermittirenden Beleuchtung nicht auch einen Eigenton im Telephon, so sind wohl alle Störungen physikalischer Art ausgeschlossen und spricht das Telephon dann noch undeutlich, so kann der Fehler nur durch physiologische Gründe verursacht sein. [1])

Ist das wirklich der Fall, ergiebt sich also aus dem Experiment dass diese physiologische Erscheinung im Stande ist die Sprachwiedergabe des empfangenden Telephons unbrauchbar zu machen, so können wir mit Sicherheit behaupten, dass eine Duplex-oder Multiplex-Telephonie sowohl mit *plötzlich* als mit *allmählig* unterbrochenen Strömen zu den Unmöglichkeiten gehört.

Wenn es möglich wäre, eine Selenzelle zu fertigen, die so empfindlich und so schnell wirkend wäre, dass das empfangende Telephon während der Beleuchtungsperiode der Zelle keinen hörbaren Strom erhielte, so hätten wir auf diese Weise einen periodisch und graduell unterbrochenen Strom. Zeigt sich nun durch das Experiment dass die obengenannte physiologische Komplizirung ein brauchbares Sprechen des Telephons nicht verhindert, so wäre eine Doppeltelephonie möglich mittels 4 Selenzellen, welche wie die Kurzschlüsse der Fig. 23 mit der Leitung verbunden sind. Sind *ab* und *cd* beleuchtet, so seien *be* und *df* in dieser Zeit im Dunkeln und umgekehrt. Auf diese Weise würde man also für eine Doppeltelephonie nur 2 synchron laufende Löcherscheiben, an jedem Ende der Linie eine, benötigen.

Ich hoffe bald Gelegenheit zu finden die Untersuchung in diesem Sinne fortzusetzen und zu erproben, was sich mit guten Selenzellen in dieser Richtung erreichen lässt.

---

[1]) Ein kleiner Fehler physikalischer Art ist hierbei nicht ganz ausgeschlossen, es wird ja auf diese Weise noch eine geringe Entstellung des Klanges entstehen können. Nehmen wir an, dass ein einfacher (pendelartiger) Ton vor dem Mikrophon hervorgebracht wird, dann wird also die Membran des Empfängers eine Sinusbewegung machen müssen. Aber während der krescirenden und der dekrescirenden Periode wird die Bewegungskurve selbstverständlich von einer Sinuskurve verschieden sein, es wird daher eine Aenderung der Klangfarbe entstehen können. Freilich ist das bei den Krescendo's und Dekrescendo's in unserer Musik auch der Fall, aber dort geschieht das Kresciren und Dekresciren sehr langsam. Bei unserer rotierenden Scheibe dagegen findet dies sehr rasch statt und daher ist es nicht unmöglich, dass diese starke Abweichung von der Sinusform eine merkbare Aenderung der Klangfarbe zur Folge haben wird.

MAYER sagt in einer seiner Abhandlungen (Vol. 47, p. 5—6) er habe durch die vielen Versuche mit unterbrochenen Klängen einen permanenten Fehler an einem seiner Ohren bekommen. Um diejenigen zu beruhigen, welche die Lust, auf diesem Gebiete zu arbeiten, in sich fühlen, teile ich hier mit, dass weder mein Assistent noch ich bei unseren vielen, sich über eine Periode von mehr als 3 Jahren erstreckenden, Versuchen, irgend einen schädlichen Einfluss auf die Gehörorgane gespürt haben.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, hier Herrn D. DE WOLFF meinen Dank auszusprechen für die freundschaftliche Hülfe, die er mir sowohl bei der Konstruktion und der Anfertigung der Versuchsapparate als bei dem Experimentiren selbst geleistet hat.

Als die Idee bei mir entstand, Doppeltelephonie dadurch zu erreichen, dass die Stationen paarweise nach einander mit der Linie in Verbindung gebracht würden, glaubte ich, dass dies etwas ganz Neues sei.

Wie ich S. 4 schon mitteilte, war es mir nicht bekannt, ob je Experimente mit unterbrochenen Klängen gemacht waren, sei es in Bezug auf Telephonie oder unabhängig davon.

Ich habe jedoch nachher gesehen, — die Experimente mit dem Apparat der Figur 15 waren damals schon gemacht, — dass meine Idee nicht neu war. Zuerst fand ich im „Handbuch der Telephonie" von Dr. VICTOR WIETLISBACH, bearbeitet von Herrn Prof. ROBERT WEBER, auf Seite 310, dass schon eine grosse Anzahl von Patenten für dieselbe Idee angemeldet worden waren. Da jedoch keine Namen oder Quellen dabei angegeben waren, habe ich Herrn Prof. WEBER gebeten, mir Näheres darüber mitzuteilen; derselbe antwortete mir jedoch dazu leider nicht im Stande zu sein.

Darauf habe ich weiter gesucht und in erster Stelle eine Erfindung in dieser Richtung von TOMMASI gefunden und zweitens einen Vorschlag von LEBLANC.

Die Tommasi'sche Erfindung ist beschrieben in „Manuel pratique du téléphone", von SCHWARTZE, G. FOURNIER und TOMMASI, 1e Partie S. 276—279. Seine Methode stimmt genau mit dem überein was ich mit dem Apparat der Fig. 5 beabsichtigte. Ob jedoch TOMMASI die Ausführbarkeit seiner Idee jemals durch Experimente probirt hat, kommt mir sehr unwahrscheinlich vor. Er schreibt ja „le son est perçu pendant 1/32e de seconde apres sa cessation"; wenn er experimentirt hätte, so würde er jedenfalls rasch bemerkt haben, dass diese Zeit kleiner wird, wenn der Ton höher wird. Die Mayer'schen Untersuchungen waren ihm jedenfalls unbekannt.

In „la lumière électrique", 1886 T. XX, S. 101—102, giebt LEBLANC eine Methode für Vielfachtelephonie an, ebenfalls mit unterbrochenen Klängen. Es macht dieser Aufsatz auf mich jedoch den Eindruck dass er mit sehr wenig Ernst niedergeschrieben ist und dass gar nicht versucht worden ist, die Ausführbarkeit der Idee durch das Experiment zu prüfen. Ich verweise daher den Leser auf den Aufsatz selbst, da eine ausführliche Widerlegung uns zu weit führen würde. Ohne von anderen Bedenken zu reden, fällt es einem sofort auf, dass die Bewegung des Eisenstücks *K* (Fig. 7 der genannten Veröffentlichung) wahrscheinlich einen sehr störenden Ton in sämmtlichen Telephonen geben wird. LEBLANC giebt in dieser Figur 7 einen Apparat an, der den Zweck hat 16 Stationen zugleicherzeit und paarweise mit einander sprechen zu lassen!

Ich will jetzt noch eine kurze Uebersicht geben über die verschiedenen Methoden, nach welchen man versucht hat, *ohne Benützung unterbrochener Klänge* eine Duplex-oder Multiplex-Telephonie zu erreichen.

1. Methode von LEBLANC und HUTIN. Nach der E. T. Z. 1893, N°. 24, S. 351, haben LEBLANC und HUTIN ein Patent angemeldet für eine Art von Vielfachtelephonie, wobei Wechselströme von 100,000 bis 160,000 Perioden pro Sek. benutzt werden sollen. Was dort mitgetheilt wird, ist jedoch zu unvollständig, um sich daraus ein Urteil über die Erfindung machen zu können. Meiner Ansicht nach soll man diese Idee unter die Phantasien und nicht unter die ernstlichen Erfindungen klassifiziren.

2. Methode von LEBLANC. In der schon obengenannten Publikation in „la lumière électrique" giebt LEBLANC S. 99—100 noch eine Idee zur Vielfachtelephonie an, die auf der Anwendung abgestimmter Stimmgabeln beruht, ähnlich dem harmonischen Telegraphen von ELISHA GRAY. Es fehlt, meiner Meinung nach, ein ernstlicher Gedanke darin, eben so wie im anderen oben gegebenen Vorschlage LEBLANC's. Bei einem ersten Versuch, die Ausführbarkeit der Idee durch das Experiment zu prüfen, wird man zweifelsohne erfahren dass, wenn auch die Idee qualitativ sehr sinnreich genannt werden kann, quantitativ nichts brauchbares daran ist.

3. Differentialmethode von ELSASSER. [1]) In Fig. 27 sind *t* und *t* 1 Transformatoren. Die von *a* erregten Telephonströme ge-

---

[1]) E. T. Z. 1885, S. 283.

langen durch Induktion über den Transformator *t* in die Linie (Pfeile *a*) und auf dieselbe Weise über *t* 1 in das Telephon *a* 1. Die von *b* und *b* 1 kommenden Drähte sind *an die Mitte* eines Transformatordrathes gekuppelt, wodurch *b* und *b* 1 von den von *a* oder *a* 1 erregten Strömen nichts hören werden. Die von *b* erregten Ströme (Pfeile *b*) werden in den Stromkreisen, in welchen *a* und *a* 1 sich befinden, keinen Strom induziren, da die *b*-Ströme die beiden Hälften des Transformatordrahtes in entgegengesetzten Richtungen durchlaufen. Es werden also *a* und *a* 1 von *b* und *b* 1 nichts hören.

Es scheint leider diese eben so schöne als einfache Lösung des Problems in der Praxis keine guten Resultate zu geben, da sie eine vollkommen gleiche Isolirung für die beiden Linien voraussetzt, was praktisch nicht ausführbar ist. Auch sind die beiden Linien, wie sie für die Korrespondenz zwischen *b* und *b* 1 gebraucht werden, einer dritten Linie gegenüber nicht induktionsfrei. [1]) Von Doppeltelephonie nach dieser Methode kann man eigentlich nicht sprechen. Da man hier 3 Linien für 2 Gespräche braucht, würde man von Anderthalb-Telephonie sprechen müssen.

4. Vielfachtelephonie mittels des Poulsen'schen Telegraphons. Für diese Methode verweise ich auf eine kurze Mitteilung von meiner Hand in der „Physikalische Zeitschrift", 1905, N°. 18, S. 572 und auf meine Antwort auf eine Bemerkung des Herrn Ruhmer dazu in derselben Zeitschrift, 1906, N°. 6, S. 185. Ich habe dort gezeigt dass eine Vielfachtelephonie mit diesem Apparate zu den Unmöglichkeiten gehört.

5. Methode von William Marshall. [2]) In Fig. 28 ist *A* ein mit 2 Drähten in entgegengesetzter Richtung bewickeltes Telephon, *R* ein Widerstand, *C* ein Kondensator und *M* ein Mikrophon. *B* ist ein mit Mikrophon und Transformator versehener Telephonapparat, wie in der Praxis gebräuchlich; statt eines Hörtelephons ist der Apparat jedoch mit einem „sprechenden" Kondensator *C* versehen. Die korrespondirenden mit Strichen versehenen Buchstaben auf der anderen Station bedeuten die gleichen Apparate.

Wird jetzt in das Mikrophon *M* 1 von Station II gesprochen, so fliesst also ein undulirender Strom durch die Linie. Er geht über den Widerstand *R* zum Telephon *A* und wird dieses sprechen lassen. Durch die Aenderung der Stromstärke in der Linie wird

---

[1]) Vergl. auch Schwensky, E. T. Z. 1898, S. 853 und Wietlisbach, Handb. der Telephonie, S. 310—312.

[2]) „Electrical Engineer" (New-York) XX, No. 376, 17/7 1895, S. 70. Daraus auch in E. T. Z. 1895, S. 565.

jedoch auch die Ladung des Kondensators *C* sich ändern, wodurch ein telephonischer Strom auch in der zweiten Wickelung von *A* hervorgerufen wird. Dieser Strom wird die Wirkung des Telephons *A* abschwächen. Um diese Abschwächung möglichst gering zu machen, würden sowohl die Kapacität von *C* wie der Widerstand von *R* klein sein müssen.

Der von Station II ausgehende undulirende Strom wird auf den sprechenden Kondensatoren der Apparate *B* und *B* 1 eine geringe Aenderung der Ladung verursachen; nach MARSHALL wird diese Aenderung jedoch keinen wahrnembaren Klang in diesen Kondensatoren zu Folge haben, in welchem Falle also *B* und *B* 1 von dem zwischen *A* und *A* 1 gehaltenen Gespräch nichts hören werden.

Wird in *B* gesprochen, so werden die dort erregten *Wechselströme* zunächst zum Apparat *B* gehen und dort den Kondensator-Empfänger sprechen lassen. Diese Ströme werden jedoch auch durch das Mikrophon *M* gehen, sich zwischen dem Widerstand *R* und dem Kondensator *C* verzweigen und danach die beiden Wickelungen des Telephons *A* in entgegengesetzten Richtungen durchlaufen. (Es findet natürlich dasselbe statt in Station II über *M* 1 *R* 1 *C* 1 und *A* 1.) Sind nun diese Ströme in den beiden Wickelungen des Telephons *A* von gleicher Intensität, so wird das Telephon in Ruhe bleiben und es werden auf diese Weise also *A* und *A* 1 nichts von dem zwischen *B* und *B* 1 gesprochenen hören.

Zu diesem Zweck wird jedoch entweder ein Kondensator *C* von ziemlich grosser Kapacität oder ein grosser Widerstand *R* erforderlich sein. Im letzteren Falle wird man mit einem kleinen Kondensator auskommen können da die Aenderungen in der Potentialdifferenz zwischen den beiden Kondensatorbelegungen, und daher auch die Ladungsänderungen, mit *R* wachsen.

Wir haben jedoch gesehen dass es für eine gute Korrespondenz zwischen *A* und *A* 1 erwünscht ist, eine *kleine* Kapacität *und* einen *kleinen* Widerstand zu gebrauchen.

Wie nun MARSHALL den Widerstand und die Kapacität gewählt hat, um beiden sehr von einander verschiedenen Anforderungen wenigstens einigermaassen entgegenzukommen, sagt die Beschreibung nicht. Ich vermuthe dass sich beim Experiment zeigen wird dass *A* und *A* 1 ganz entschieden wohl etwas von *B* und *B* 1 mithören werden und umgekehrt ebenfalls.

Ob das Marshall'sche System jemals geprüft worden ist, ist mir nicht bekannt. Die Stationen *B* und *B* 1 würden nach meiner Ansicht mit Vorteil mit gewöhnlichen Hörtelephonen anstatt mit sprechenden Kondensatoren ausgerüstet werden können, wenn man

die Linien bei *a* und *a* 1 unterbricht und dort kleine Kondensatoren einschaltet. Da der sprechende Kondensator viel weniger empfindlich ist als das Telephon, so würde die Korrespondenz zwischen *B* und *B* 1 durch diese Abänderung jedenfalls besser werden.

Ich habe diesen Marshall'schen Vorschlag erwas ausführlich behandelt, weil ich vor vielen Jahren (etwa 1889 oder 1890) in derselben Richtung vergeblich versucht habe das Problem zu lösen.

Meiner Meinung nach können wir also sagen, dass eine praktisch brauchbare Vielfachtelephonie bisjetzt noch nicht erfunden ist. Von den verschiedenen vorgeschlagenen Methoden gelingt nur die sehr schöne Elsasser'sche, aber leider nur als Laboratoriums-Experiment. Die von anderen Seiten vorgeschlagenen Methoden sind wohl meistens gar nicht probirt und die von mir ausprobirten Methoden sind zum Gebrauch ungeeignet.

Es bleibt jedoch die Frage noch unbeantwortet, ob eine Vielfachtelophonie mit *allmählig* unterbrochenen Klängen nicht möglich sei; in wie fern sich für die Praxis etwas daraus machen lässt, hoffe ich später aus dem Experiment kennen zu lernen.

Delft, 22/2 1906. J. W. GILTAY.

(21 Juli 1906).

J. W. Giltay. Experimental-Untersuchung über die Möglichkeit einer Doppeltelephonie mittels unterbrochener Klänge.

Taf. I.

Fig. 1.

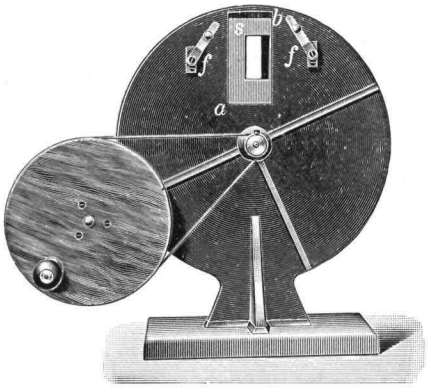

Fig. 3.

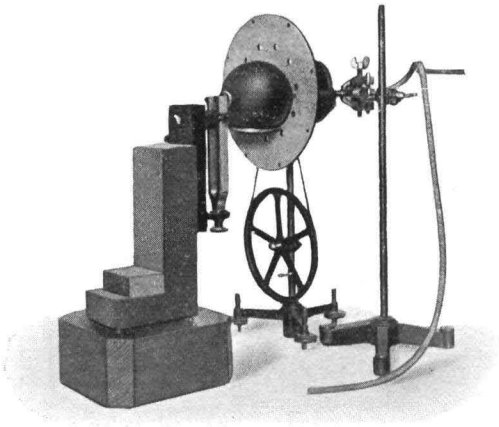

Fig. 2.

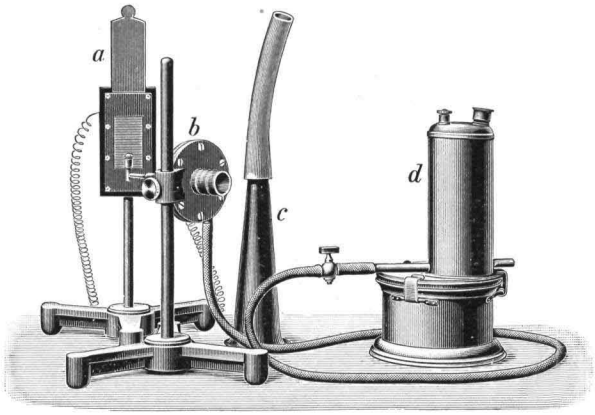

Fig. 4.

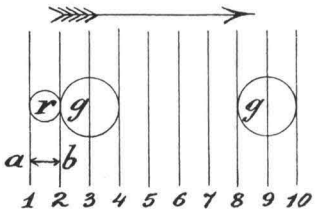

Fig. 5.

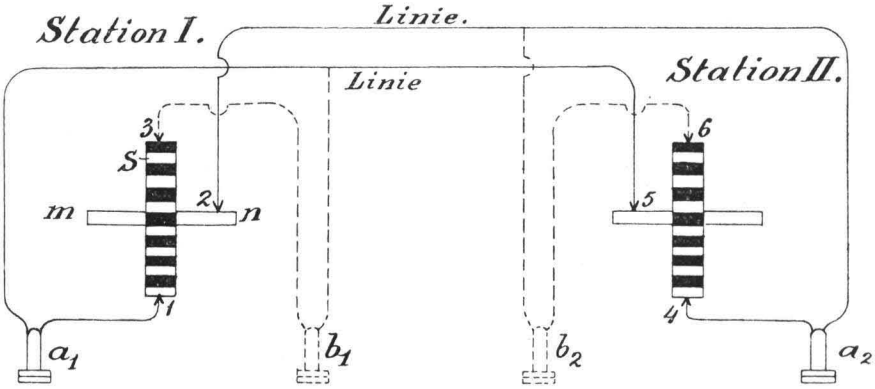

Fig. 6.

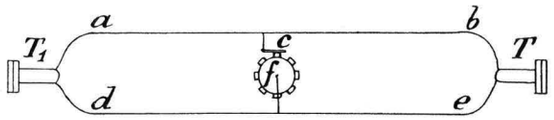

Fig. 7.

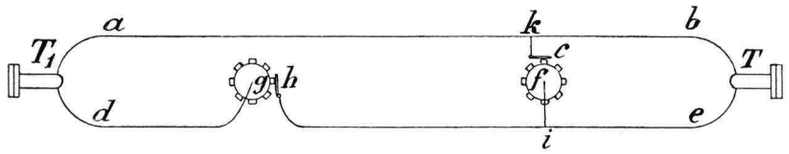

Fig. 8.

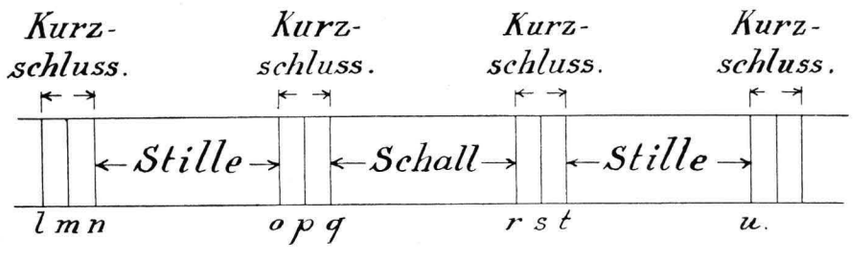

Fig. 13.

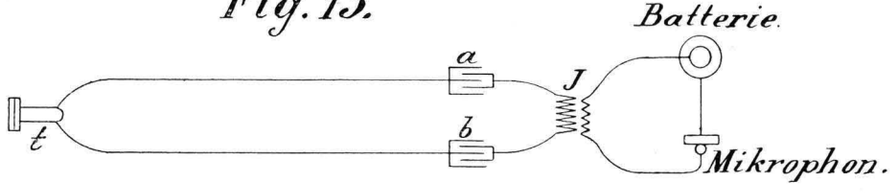

Fig. 9.

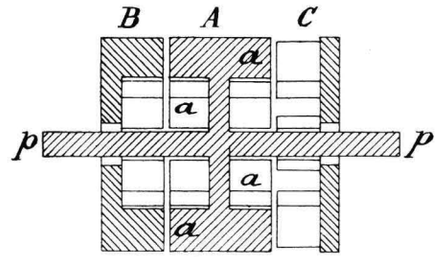

Fig. 10.

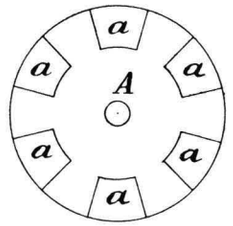

Fig. 11.

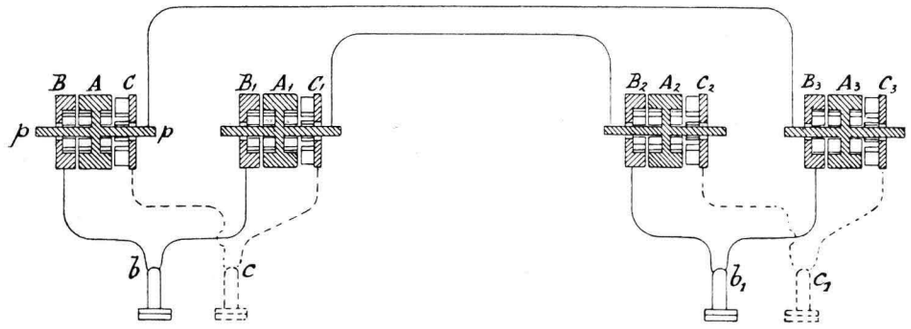

Fig. 12.

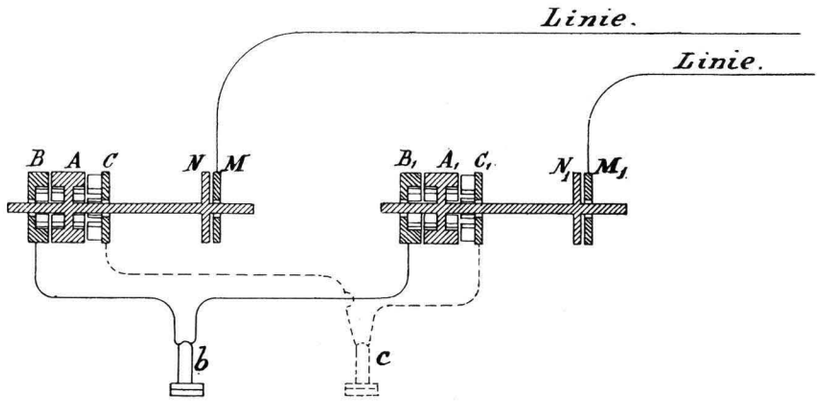

Fig. 14.

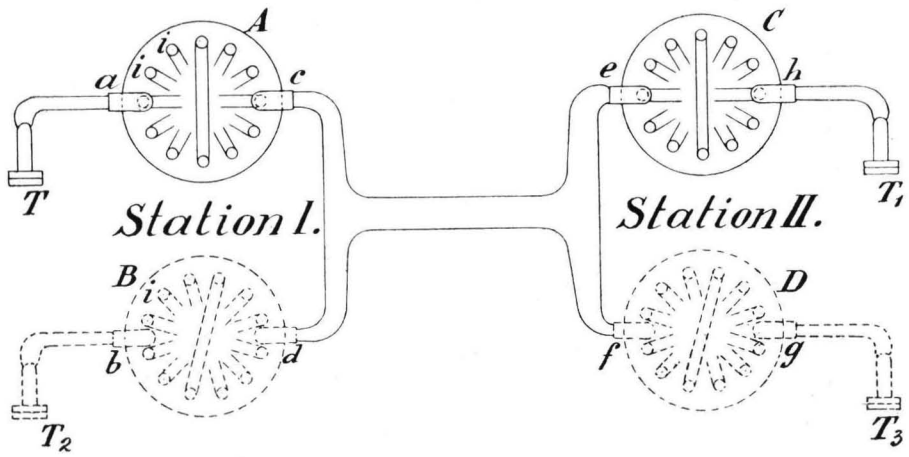

Fig. 15.

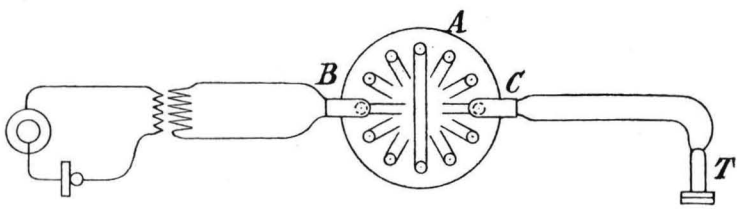

Fig. 16. 1/1

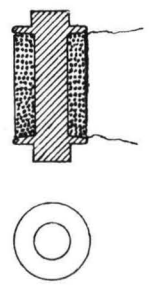

Fig. 17. 1/1.

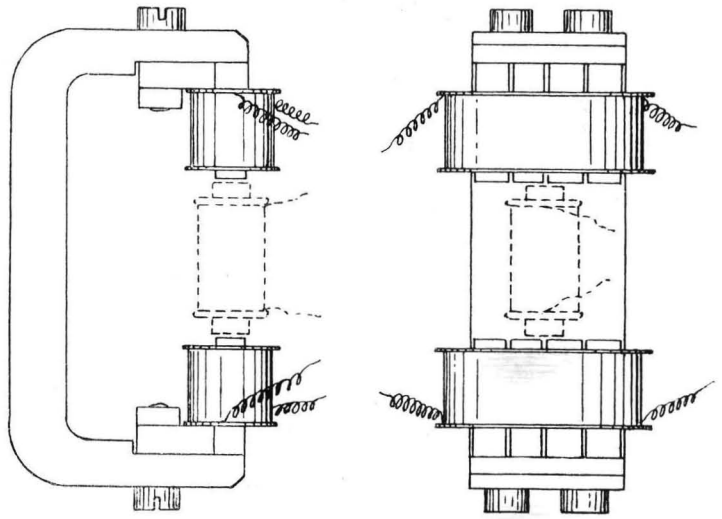

Fig. 20.

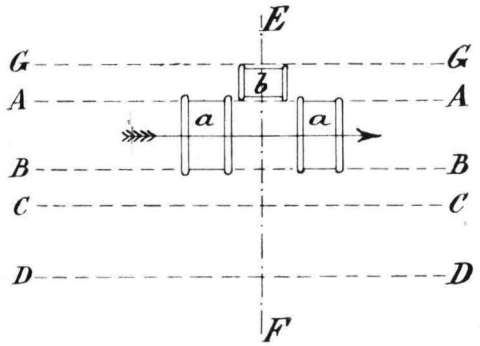

Fig. 18.

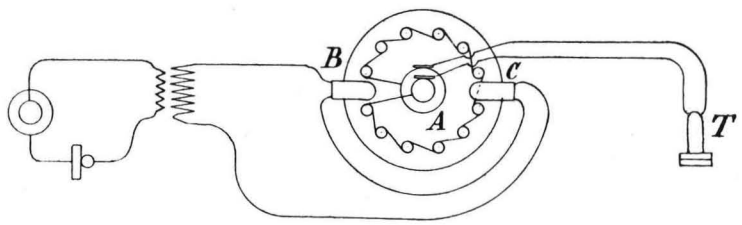

Fig. 19.

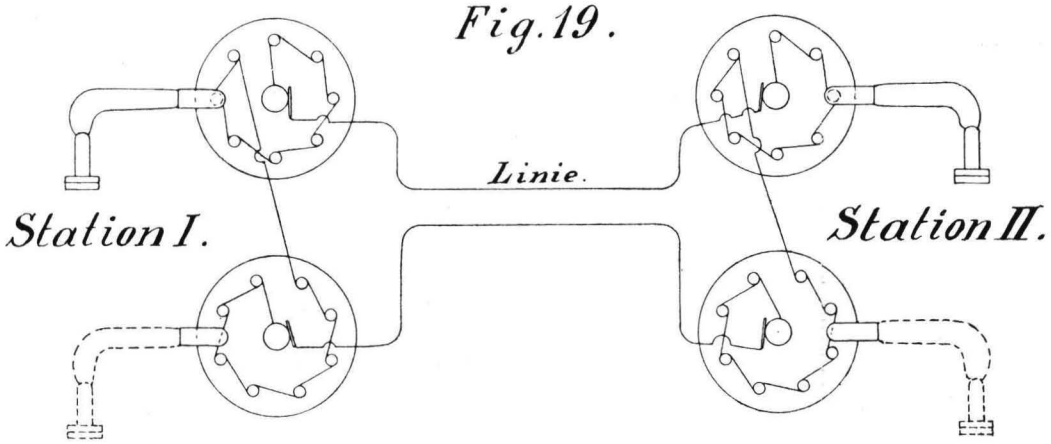

Fig. 21.

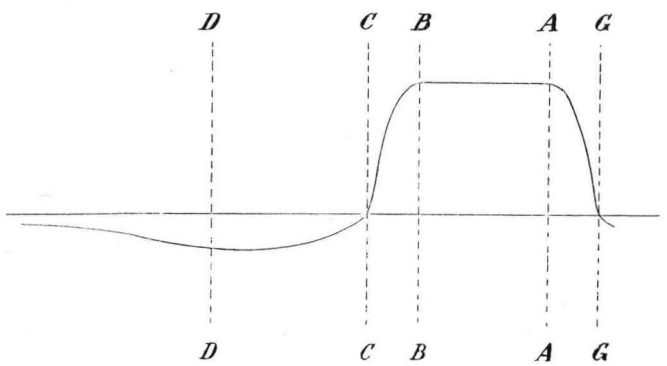

Fig. 22.

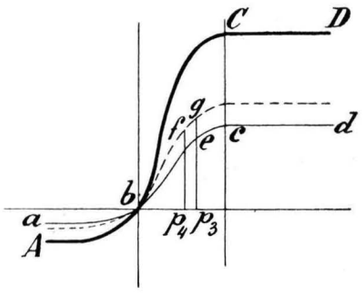

Fig. 23.

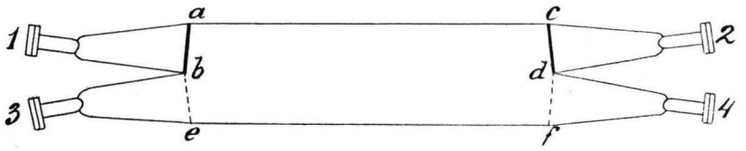

Fig. 24.

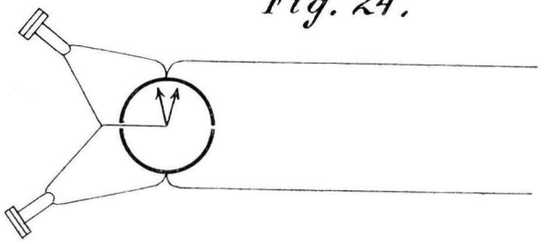

Fig. 26.

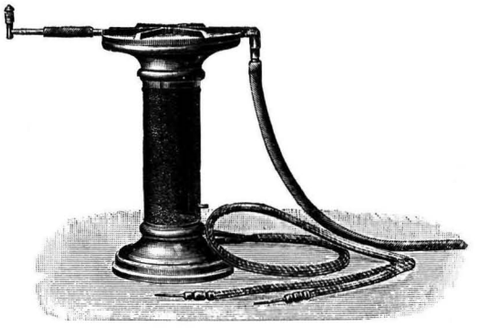

Fig. 25.

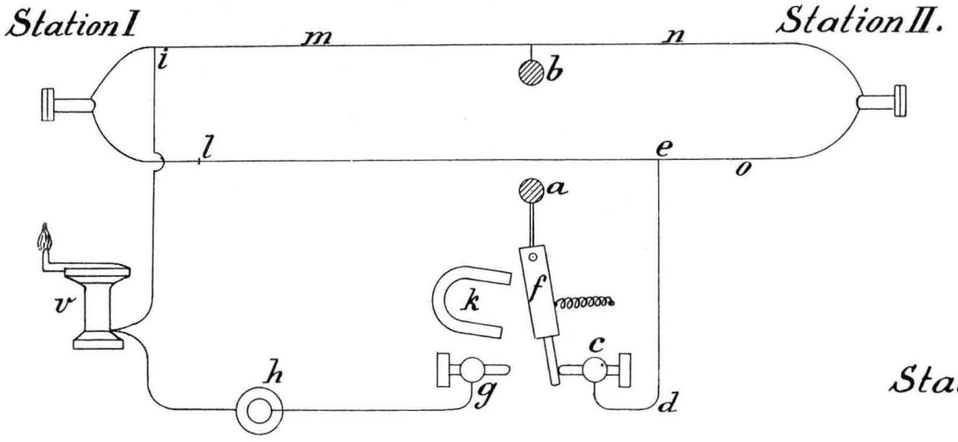

Fig. 27.

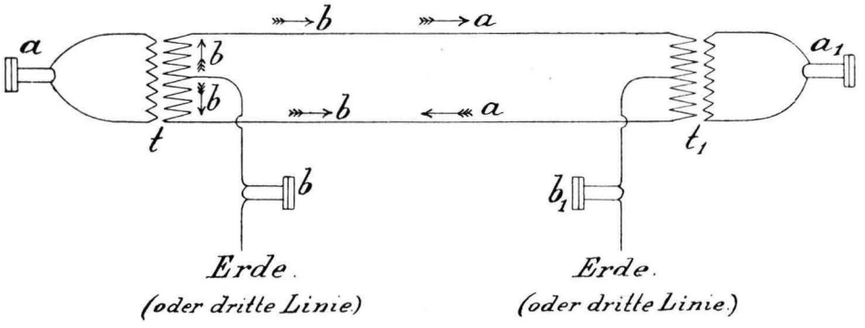
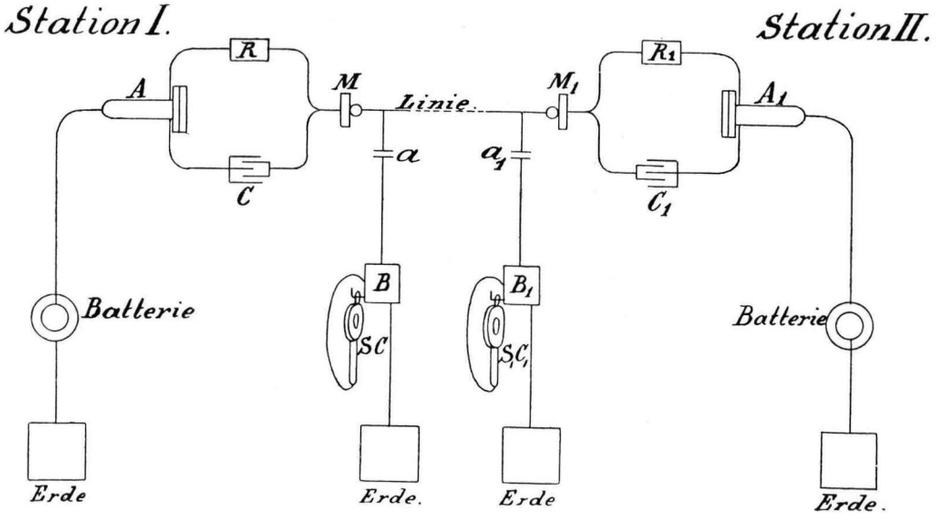
Fig. 28.