ANNALEN DER PHYSIK.

VIERTE FOLGE. BAND 8.

1. *Photographische Darstellung der Schwingungen von Telephonmembranen; von Robert Kempf-Hartmann.*

(Hierzu Taf. II—VI.)¹⁾

Im Februar 1901 betraute mich Hr. Professor W. Wien mit der Aufgabe, mittels meiner bereits vorhandenen instrumentellen Einrichtungen zur photographischen Darstellung der Schwingungen elastischer Körper diejenigen akustischen Vorgänge im Telephon objectiv darzustellen, welche sich beim Öffnen und Schliessen eines wellenförmigen Stromes, z. B. eines intermittirenden Gleichstromes, abspielen. Die Anregung zu dieser Frage gab eine im psychologischen Institut der Universität Würzburg angestellte, unter Leitung von O. Külpe ausgeführte Untersuchung von Wrinch²⁾, worin das Telephon benützt wurde, um gleichmässige Töne von bestimmter Zeitdauer herzustellen. Hierbei war es notwendig, darüber ins Klare zu kommen, ob die durch die Dauer eines Stromschlusses für eine bestimmte Zeit hörbaren Telephontöne die objective Dauer des Stromschlusses richtig reproduzierten.

Zu diesem Zwecke wurden von einer automatisch wirkenden Einschaltvorrichtung auf kurze Zeiten, z. B. $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{4}$ Secunde, die von einem Stimmgabelunterbecher herrührenden wellen-

1) Der Verlauf der Aufnahmen vollzieht sich in den Lichtdrucktafeln von *rechts nach links*. Aus äusserlichen Gründen habe ich davon abgesehen, die Nummernbezeichnung am rechten Ende der Aufnahmen anzubringen. Die Lichtdrucke sind bei Kühl & Cie, Frankfurt a. M., hergestellt. Die Symmetrie in der Gruppierung konnte nur annähernd erreicht werden, weil darauf bei den Originalaufnahmen noch keine Rücksicht genommen wurde, indem ursprünglich die Reproduction der Curven durch Holzschnitt geschehen sollte.

2) Welche in den „Philosophischen Studien“ von Wundt erscheinen soll.

förmigen Ströme in ein Bell-Telephon geschickt, dessen Membran durch aufgedrücktes Gummi gedämpft war, um die Intensität des Tones abzuschwächen. Es war nun von Interesse zu erfahren, ob man den Verlauf des erzeugten Klanges für die ganze Zeitdauer als homogen ansehen durfte, oder ob dynamische bez. qualitative Unterschiede bei den ersten und letzten Schwingungen sich derart von dem Charakter des andauernden Tones abhoben, dass deren psychologische Wirkung nicht mehr vernachlässigt werden könnte.¹⁾

Solche Vorgänge objectiv darzustellen, verlohnt sich nicht nur aus den angeführten Gründen, vielmehr können sie geeignet sein, auch für die Beurteilung unwillkommener Erscheinungen, wie sie beim gewöhnlichen Gebrauch des Telephons zur Uebertragung der Sprache alltäglich vorkommen, einen Anhalt zu bieten. Auch hierbei spielen periodische Kräfte, seien es nun die Luftwellen selbst oder die durch das Mikrophon producirten Stromschwankungen, stets die Rolle einer erregenden Kraft, und auch hier wird bis zu einem gewissen Grade durch die Trägheit des Anklingens der Membranen (meistens sowohl der des Mikrophons als auch der des Telephons) sowie ihrer Neigung, in irgend einer Weise nachzuklingen, ein ungewünschter Effect auf die Tonwahrnehmung vorhanden sein, zumal wenn rapide Aenderungen in der Beschaffenheit der erregenden Kräfte vor sich gehen, nicht zum mindesten bei dem durch zu lautes Sprechen herbeigeführten Abreissen der Mikrophonmembran bez. der daran befestigten Kohlenstücke von den übrigen Stromleitern.

Nun sind zwar theoretische Untersuchungen über An- und Abklingen von gedämpften elastischen Körpern unter dem Einflusse harmonischer Erregungskräfte längst angestellt worden, bereits von v. Helmholtz²⁾. Ungeachtet dessen hoffe ich durch

1) Hierbei soll die nicht ganz selbstverständliche Annahme vorausgeschickt werden, dass das Einschalten des Erregerstromes für die Membran keine Rückwirkung auf die Unterbrechungsvorrichtung selbst ausübt. Benützt man dagegen z. B. den Extrastrom eines Stimmgabelunterbrechers an Stelle eines besonders unterbrochenen neuen Stromes, so kann eine erhebliche Verminderung der Amplitude der Stimmgabel und damit eine Aenderung der Wirkung des Oeffnungsstromes eintreten.

2) H. v. Helmholtz, Die Lehre von den Tonempfindungen p. 235 u. 643 1896.

die experimentelle objective Darstellung einiger complicirter Vorgänge, wie sie allerdings schon bei den einfachsten Verhältnissen auftreten, einen nicht überflüssigen Beitrag zur Erleichterung ihrer Vorstellung zu liefern.

Die erschöpfende Behandlung des Stoffes erfordert mehr Arbeitsaufwand, als mir wegen der Dringlichkeit meiner laufenden physikalischen Untersuchungen möglich war.

Was die Methode der photographischen Aufzeichnung der Membranschwingung anbelangt, so blieb ich bei den Einrichtungen, die sich bei meinen bisherigen Versuchen als vorteilhaft erwiesen hatten:

Das Licht einer Bogenlampe wird durch eine achromatische Linse von ca. 30 cm Brennweite auf ein punktförmiges Diaphragma konzentriert; dieses Diaphragma steht im Brennpunkte eines zweiten sehr präzisen Linsensystems von 56 cm Brennweite. Das nunmehr parallele Licht fällt auf einen Hohlspiegel, der mit dem schwingenden Gegenstand (Membran) starr verbunden ist. Dort wird es wieder convergent gemacht, auf einen Planspiegel geworfen, der unter 45° zu der Richtung des Strahles steht und das Licht auf die Oberfläche eines rotirenden Cylinders schickt, auf welcher Celluloidfilms aufgespannt werden.¹⁾ Das Aufspannen kann durch Gummibänder oder mittels Klebwachs (terpentinhaltiges zähes Gemisch) geschehen. Die Trommel hat einen Umfang von genau 100 cm; sie wird durch einen Elektromotor mit Fliehkraftregulator (von A. Schöller, Frankfurt a. M.) angetrieben. Dieser Motor steht getrennt vom Untergestell der Trommel; die Uebertragung geschieht durch ein mehrfaches Vorgelege mit dünnen Schnurläufen. Eine am Rande der Trommel befindliche Contactfeder bethätigte an der gewünschten Stelle das Oeffnen eines Objectivverschlusses und das nach einem einmaligen Umgang erforderliche Schliessen. Einzelheiten der Construction sollen hier nur soweit unbedingt notwendig beschrieben werden, weil ein ausführlicher Bericht gelegentlich

1) Ich benutzte ausschliesslich sog. „planliegende Celluloidfilmsfolien, 0,25 mm dick, die mir in jeder Quantität von der Actiengesellschaft für Anilinfabrikation Berlin (SO., 86) innerhalb 10 Tagen frisch geliefert wurden. Das Material ist ausgezeichnet, hinreichend empfindlich und fleckenlos; auch wegen seiner Haltbarkeit kann ich es sehr empfehlen.

einer anderen Veröffentlichung bevorsteht. Ueber die Auswahl und die Behandlung der Spiegel will ich an den betreffenden Stellen ausserdem im Anhang Eingehenderes mitteilen, zumal ich damit mehrfach geäusserten Wünschen entgegenkomme.

Im übrigen will ich nicht unterlassen, auf Uebelstände und Constructions-mängel der Hilfsapparate hinzuweisen, die sich namentlich gleich bei den ersten Untersuchungen bemerkbar machten.

I. Ueber die Schwingungsvorgänge der Telephonmembran beim Ein- und Ausschalten eines wellenförmigen Stromes.

(Hierzu Tafel II.)

Die Aufgabe, den Zeitpunkt zu bestimmen, von welchem ab sich der Schwingungsvorgang periodisch vollkommen gleichartig wiederholt, scheint an sich keine Schwierigkeiten zu enthalten. Dem ist in der That so, sobald man sich damit begnügt, das Photogramm des gesamten Schwingungsvorganges zu entwerfen, dabei aber auf ein besonderes Protocoll des zeitlichen Eintrittes bez. des Verschwindens der erregenden Kraft verzichtet. Ich wollte aber gerade diese kritischen Augenblicke durch eine Zeitmarke festhalten. Geeignet erschien mir dazu ein magnetisches Relais, welches ich schon früher einmal mit Vorteil zum Anzeigen von halben Secunden benützt hatte.¹⁾

Der federnde Anker sollte nach dem Verlassen seiner Ruhestellung ein zweites, dicht neben dem ersten liegendes punktförmiges Diaphragma für den Lichtdurchgang freigeben, und nach dem Erlöschen des magnetischen Anzuges wieder verschliessen. Die Latenzzeit des Relais hätte man ohne grössere Schwierigkeiten genau bestimmen können, z. B. durch Niederdrücken eines Stromschlüssels, dessen Bewegung und Endstellung im Moment des Stromschlusses mittels Spiegel auf die wandernde Platte aufgezeichnet worden wäre. Diese Zeit hätte — wenn von constanter Dauer — beliebig lang sein dürfen.

Um dieses Relais gleichzeitig mit dem Telephon einzuschalten, bez. beim Ausschalten nochmals zu bethätigen, liess

1) R. Kempf-Hartmann, Elektrotechn. Zeitschr. 22 p. 9. 1901.

ich an einem 2 m hohen Gestell aus hölzernen Schienen einen schlittenartigen Holzklotz heruntergleiten. Der Schlitten trug beiderseits Schleifbürsten aus Bronzefedern, in welche durch ein biegsames Kabel der intermittierende Gleichstrom von 70 Volt (Accumulatorenbatterie), bez. ein kontinuierlicher Strom von 60 Volt geleitet wurden. Am unteren Ende der Schienenführung befanden sich an der Innenwand der Holzleisten Längsstreifen aus Bronzefederband, von denen das eine (ca. 50 cm lang) mit dem Telephon in Verbindung stand; das Relais aber war mit zwei kleinen (ca. 5 cm langen) Bandstücken verbunden, deren Anfänge um die Länge des grossen Bronzebandes auseinanderlagen. Das Relais hatte nur $2\ \Omega$ Drahtwiderstand, es lagen aber noch $100\ \Omega$ bifilar vorgeschaltet, um die Latenzzeit zu verkleinern.

Es galt jetzt nur noch, eine zeitliche Beziehung zu finden zwischen der Umlaufgeschwindigkeit der Trommel und der Fallgeschwindigkeit des Schlittens. Aber gerade hierbei stellten sich Schwierigkeiten ein, weil der Schlitten infolge der Reibung (Bürsten) sehr unregelmässig ins Rutschen kam; auch das Hinunterstossen mit beträchtlicher Anfangsgeschwindigkeit konnte keinen gleichmässigen Verlauf herbeiführen.¹⁾ Es gelang mir nicht (trotz trefflicher Hülfeleistung des Hrn. stud. Käsbohrer) den Vorgang, der etwa $\frac{1}{6}$ Sec. dauerte, gerade dann sich abspielen zu lassen, wenn das aufgespannte Film der Belichtung ausgesetzt war. Die Trommel lief damals mit einer Geschwindigkeit von 1 Umdrehung pro Sec., d. i. eine Peripheriegeschwindigkeit von 1 m pro Sec. Eine Periode des intermittierenden Stromes von $\frac{1}{100}$ Sec. würde demnach 10 mm Länge beanspruchen, also annähernd sich auf das Mindestmaass beschränken. Ein um nur $\frac{1}{4}$ Sec. unpünktlicher Eintritt der Telephonerregung hätte erfordert, das Film beiderseits um 25 cm zu verlängern. Eine derartige Vergrösserung musste aber aus verschiedenen Gründen unzweckmässig erscheinen. Einmal wird das immerhin wertvolle Material nur ungenügend ausgenützt, dann ist auch die Behandlung langer

1) Es erwies sich hierbei als notwendig, den Schlitten auf einem Wattepolster aufzufangen und das Zurückschnellen, wobei sich die Bürsten verbogen, durch Einschnappfedern zu verhindern.

Filmsstreifen recht unbequem; schliesslich war es auch erwünscht, wegen der Uebersichtlichkeit die einzelnen Gruppen geordnet untereinander zu haben, ganz abgesehen von den Missständen, die einer Reproduction der Curven im Wege gestanden hätten. Die Trommel konnte behufs Untereinanderlagerung der Aufnahmen auf der gleichen Filmsfolie senkrecht zu ihrer Umlaufrichtung verschoben werden.

Fig. 1.

Aus diesen Gründen wurden der Trommel selbst die sämtlichen Functionen des Schlittens übertragen. Ihr blechernes Schutzgehäuse liess noch genügend Platz, um am Rande der Trommelräder Contactfedern anzubringen, die in ähnlicher Weise, wie die Bürsten des Schlittens, beiderseits an Bronzebändern vorüberschleifen sollten. Das Einstellen der Contacte konnte hinreichend genau, auf mindestens 0,3 mm vorgenommen werden. Bei einer genügend raschen Umlaufgeschwindigkeit (1,5 mal pro Sec.) belief sich ein solcher Fehler auf etwa $\frac{1}{50}$ Periode, konnte demnach vernachlässigt werden. Ein Nebenschluss zu den Oeffnungsstellen des Relaisstromkreises schwächte den Oeffnungsfunken. Uebrigens zeigte sich — ungeachtet des starken Eindruckes auf das Auge im dunkeln Raume — niemals ein schädlicher Einfluss des Funkenlichtes, solange nicht directe Streiflichter auf das Film fielen; in diesen Fällen lassen sich ja auch Schutzbleche und dergl.

anbringen. Ein Abbrennen der Contactfedern stand in Betracht der grossen Geschwindigkeit des Oeffnens nicht zu befürchten.

Soweit functionirte die verbesserte Einrichtung ganz zuverlässig; aber in unliebsamem Gegensatz zu den sonstigen Genauigkeiten stand die sehr beträchtliche Latenzzeit des Relais, etwa 0,004 Sec. Auf eine wesentliche Verminderung, etwa auf den 4. Teil, war nicht zu hoffen. Es hätte höchstens der kleine Weg herabgesetzt werden können, den der Anker zurücklegen musste um das zweite Lichtbild zur Zeitmarkirung zu öffnen. Nun war es aber notwendig, dass gerade dieses Freiwerden des Spaltes möglichst plötzlich geschah; um die Geschwindigkeit zu fördern, sollte sogar der Anker erst etwa 2 mm zurückgelegt haben, um dann mit voller Wucht einen federnden Verschluss beiseite zu schieben.

Aber abgesehen von der an und für sich hohen Latenzzeit blieb diese nur jeweils am Anfang und am Ende constant, sie war aber am Ende grösser als am Anfang und zwar um 0,003 Sec. Ein Einstellfehler von 2 mm blieb ausgeschlossen und dass bei schnellem Laufen der Trommel irgend eine mechanische Störung entstanden, ist nicht anzunehmen. Möglicherweise kommen Schwingungen in Betracht, welche der Anker ausführte, trotzdem er von einem Gummipolster aufgefangen wurde; die eigentliche Ursache habe ich nicht aufgefunden, gelegentlich werde ich ihr nachspüren, damals aber erwies es sich als unnötig, weil die Aufnahme selbst so charakteristisch alle Stadien erkennen liess, dass das Relais überhaupt überflüssig wurde.

Nachfolgende Abbildungen, Figg. 2 I, 2 (II), 2 II u. 2 (II), werden dafür den Beweis liefern.

Da Hr. Professor Külpe sein Telephon, das ich unter Berücksichtigung der obwaltenden Verhältnisse hätte untersuchen müssen, nicht entbehren konnte, so zog ich einen Hörer mit Hufeisenmagnet dem Bell'schen einpoligen System vor, weil bei anderen Telephonen fast ausschliesslich geschlossene Magnetsysteme Verwendung finden.

Das anfänglich gebrauchte dosenförmige Telephon von Hartmann & Braun wird hauptsächlich zu Messzwecken (Wheatstone'sche Brücke etc.) benutzt. Die Polschuhe sind

deshalb mit einer für diesen speciellen Zweck geeigneten Wicklung von nur $3\ \Omega$ Widerstand versehen. Die Membran liegt zwischen zwei abgedrehten Ringen eingeklemmt. Durch Drehen dieser beiden Ringe in einem Gewinde kann man die Membran den Polenden etwas nähern oder entfernter stellen. Bei normaler Stellung — eine solche wurde zunächst innegehalten, erfährt die Membran bereits eine merkliche Durchbiegung nach innen. Nähert man die Membran soweit als möglich, so genügt ein leiser Druck, um sie an den Magneten anschlagen zu lassen, wo sie haften bleibt. Die entgegengesetzte Verschiebung — also der weiteste Abstand — macht sich nicht so auffallend bemerkbar. Solche Einstellungsmöglichkeiten bieten die meisten modernen Hörer, so z. B. auch die der Reichspost (Siemens & Halske). Die Membran des Telephons von Hartmann & Braun hat einen Durchmesser von 68 mm, von welchem für den eingeklemmten Rand beiderseits je 3 mm abzuziehen sind, sodass für den Durchmesser der wirklich frei schwingenden Membran noch 62 mm verbleiben.

Die Sichtbarmachung der Schwingungen solcher Membranen kann auf zwei Arten ermöglicht werden¹⁾:

1. Durch starres Befestigen des Spiegels mit der Membran (Aufkitten).²⁾

2. Durch Uebertragung der stärksten Membrandurchbiegungen (in deren Mittelpunkt) auf einen Spiegel, der in Axen gelagert ist und sich ohne Neigung zu Eigenschwingungen an die Membran anschmiegt.

Für die Anwendung des ersten Verfahrens sprechen folgende Gründe:

1. Eigenschwingungen des Spiegels sind ausgeschlossen, er muss daher den Membranschwingungen, wie sie sich am Ort der Befestigung vollziehen, getreu folgen.

2. Der Spiegel hat wegen der Nähe seiner Befestigung am eingeklemmten Rande der Membran keine wesentliche

1) Vgl. L. Hermann, Pflüger's Archiv 45. p. 182; 47. p. 44 u. 347; 53. p. 1; 58. p. 255; 61. p. 169; 83. p. 1; ferner A. Samojloff, Pflüger's Archiv 78. p. 1.

2) Zuerst vorgeschlagen — aber nicht ausgeführt — von Rigollot u. Chavanon, Journ. de phys. (2) 2. p. 553. 1883.

Fig., 2 I.

Fig. 2 (I).

Fig. 2 II. **Fig. 2 (II).**

dynamische Störung oder irgendwie eine Dämpfung der Membran zur Folge.

3. Die Befestigung des Spiegels ist einfach und wenig zeitraubend. (Vgl. Anhang.)

4. Die Mitte der Membran bleibt frei zur Vornahme notwendiger Manipulationen.

Die unausgesprochenen Gegensätze, welche sich auf die andere Art der Uebertragung beziehen, sollen ausführlicher an anderer Stelle behandelt werden. Hier sei nur eingehender die Frage behandelt, ob es in allen Fällen ratsam sein mag, dem Spiegel durch Lagerung in Axen eine bestimmte Bewegungsrichtung vorzuschreiben.¹⁾ Es wird sich einmal darum handeln, alle Schwingungsformen, welche zu einem Klang (Geräusch) Anlass geben, aufzusuchen; es kann aber andererseits ebenso erwünscht sein, wenn nur diejenigen Schwingungen der Membran zum Vorschein kommen, welche die elektrodynamischen Aenderungen im Magnetsysteme registrirend versinnlichen. Indessen, dieser zweite Wunsch wird mittels der angeführten Arten überhaupt nicht erfüllbar; denn die Membran folgt ja nicht, wie das abgelenkte Kathodenstrahlenbündel einer Braun'schen Röhre, vielmehr spielt die Trägheit der Eisenmassen, hauptsächlich aber die Neigung der Membran zur Bildung des natürlichen Grundtones und ihrer Obertöne eine nicht zu unterschätzende Rolle. Ueber die Schwingungen einer Membran ist theoretisch schon reiches Material geliefert worden.²⁾ Desgleichen wurden ausführliche experimentelle Untersuchungen angestellt, wobei es sich hauptsächlich darum handelte, Obertöne bez. Knotenlinien ausfindig zu machen.³⁾ Man kann aus all der Mannigfaltigkeit der Erscheinungen den berechtigten Schluss ziehen, dass ohne jeweiligen speciellen experimentellen Nachweis sich über das Auftreten von Eigentönen und Obertönen einer Membran nichts Bestimmtes voraussagen lässt. Bei kreisrunden Membranen weiss man, dass die

1) Wie es L. Hermann u. A. Samojloff thun, und neuerdings auch L. Bevier, *Phys. Rev.* 10. p. 193—201. 1900; *Phys. Zeitschr.* 1. p. 525—527. 1900.

2) Uebersichtlich zusammengestellt in Riemann-Weber, *Partielle Diff.-Gl.* 2. p. 248 ff.

3) Vgl. F. Melde, *Winkelmann's Handbuch d. Physik* 1. p. 739 ff.

sämtlichen Eigentöne im allgemeinen gleichzeitig ansprechen, ferner dass die Obertöne meist in unharmonischem Verhältnisse zu dem Grundton stehen und dass die Knotenlinien ein System von Radien oder von concentrischen Kreisen bilden.¹⁾ Diese letzteren übertragen sich in allen Fällen, gleichgültig wie und wo der Spiegel angebracht wird; dagegen lassen sich theoretisch die Einflüsse der Obertöne mit radialen Knotenlinien bei der Sichtbarmachung ausschalten, wenn nur die Bewegung des geometrischen Mittelpunktes auf den Spiegel übertragen wird. Der physikalische Mittelpunkt — soweit ein solcher überhaupt denkbar ist — wird wohl schwerlich mit dem geometrischen zusammenfallen²⁾, sonst müsste ein in der Mitte aufgesetztes Spiegelchen sich stets parallel mit sich selbst bewegen, während es thatsächlich ganz wirre Bewegungen nach beliebiger Richtung macht, die zu allerhand verschlungenen Figuren des zeichnenden Lichtpunktes führen. Freilich kommt bei der indirecten Uebertragung auf den beweglichen Spiegel immer nur die in die vorgeschriebene Richtung fallende Componente der Membranbewegung zur Wirkung. Ist dies aber der alleinige Zweck, so wird derselbe schon dadurch erreicht, dass man an Stelle eines projecirten leuchtenden Punktes das Bild eines Spaltdiaphragmas entwirft, welches vor einer spaltförmigen Blende dicht vor der photographischen Platte auf- und abschwingt. Die ungewünschten Seitwärtsbewegungen verraten sich dann nur durch schwächeres oder stärkeres Belichten.

Den intermittirenden Gleichstrom zur Erregung der Membranschwingungen lieferte ein nach M. Wien's Idee construirter selbstthätiger Saitenunterbrecher.³⁾ Die Stahlsaite von 1 m Länge und 1 mm Dicke ist vollkommen centrisch in die Pinnolen zweier starker Reitstücke eingespannt, die ihrerseits auf der massiven Eisenwange einer grossen Drehbank festgeschraubt sind. Den elektromagnetischen Antrieb besorgt ein lamellirter Hufeisenmagnet in bekannter Weise; bei 100 Perioden schwang die Saite völlig regelmässig mit einer Amplitude von insgesamt

1) Vgl. Riemann-Weber.

2) Die Walzrichtung des Materials, sowie jede Inhomogenität, ferner die nur unvollkommen symmetrische Art der Aufspannung, auch die Stellung der Polschuhe werden ihren Einfluss geltend machen.

3) M. Wien, Wied. Ann. 42. p. 593. 1891.

7 mm; erforderlich waren vier Accumulatorenzellen. Neben dem Platinstift zu der Selbstunterbrechung stehen in passendem Abstand zwei Platinstifte, unter sich um 4 cm entfernt. Der eine von diesen taucht stets in Quecksiber und ersetzt so die dauernde Zuleitung durch die ganze Drahtlänge, um einer Wärmewirkung (Verlängerung) des Stromes vorzubeugen, denn bereits nach der kurzen und der Abkühlung am stärksten ausgesetzten Strecke von 4 cm Länge verlässt der Strom den Draht durch den anderen Platinstift, bez. erfährt eine Unterbrechung, wenn die Saite genügend weit angezogen wird. An Stelle dieses letzteren, einzelnen Drahtes trat später ein Paar von messerartig flach auslaufenden Drähten von gleicher Länge. Es kommt leicht vor, dass der Stromschluss wegen Verschmutzung vorübergehend aussetzt; bei Anwendung von zwei Stiften wird die Wahrscheinlichkeit einer derartigen Unregelmässigkeit bedeutend geringer. Besondere Sorgfalt wurde der Beschaffenheit der Quecksilberunterbrechung gewidmet. Das nebenstehende Bild zeigt die Construction der Glasnäpfe mit der von Hartmann & Braun eingeführten continuirlichen Wasserspülung¹⁾, sowie die Vorrichtung zum Einstellen und Aufrechterhalten eines bestimmten Quecksilberstandes. Die Unterbrechungsstelle wird stets von destillirtem fliessendem Wasser umspült, ihre Höhe hängt nach dem Gesetz der communicirenden Röhren von der mittels Stellschraube regulirbaren Niveauhöhe des Quecksilbers im Reservoir ab; die beiden Oberflächen betragen zusammen etwa 20 qcm, sodass über 2 g Quecksilber verbrannt sein müssen, bis sich die Unterbrechungsstelle nur um $\frac{1}{10}$ mm senkt. Auch auf das Quecksilbergefäss für die constante funkenlose Zuleitung muss Wasser gegossen werden, sonst spritzt infolge der bedeutenden Saitengeschwindigkeit das Quecksilber heraus (vgl. Fig. 3).

Die Unterbrechung geschah anfänglich nur bei normalem Quecksilberstand²⁾, darunter soll verstanden werden die Höhe der Unterbrechungsstelle, bei welcher ein geringes Zupfen der Saite genügt, um ein Brummen im Telephon hervorzurufen. Diese Angabe enthält insofern eine Ungenauigkeit, als bei

1) Nach Angabe von Prof. A. Feoktistow.

2) Vgl. auch G. Klinckert, Wied. Ann. 65. p. 859. 1898.

constantem Antrieb die Mittellage der Saite etwas höher, d. h. dem Magneten mehr genähert wird; dem steht teilweise die Erscheinung gegenüber, dass das Quecksilber dazu neigt, ein wenig an dem zurückgehenden Platinstifte zu haften, gewissermassen eine Brücke herzustellen. Letzterer Einfluss wird mit wachsender Amplitude der Saitenschwingungen geringer, auch wird dadurch die Gleichmässigkeit und Bestimmtheit der Unterbrechung gefördert. Indessen empfiehlt es sich, in der Steigerung der Schwingungsweite, wozu ja nur die treibende Kraft (Anzahl der Elemente) vergrössert zu werden braucht, Maass zu halten; nicht nur um dem Uebelstand, dass auch das mit

Fig. 3.

Quecksilbernapf mit regulirbarem Niveau und Spülung durch fliessende Wasser.

Wasser bedeckte Quecksilber schliesslich doch herausspritzt und auch starke Wellen wirft, Einhalt zu thun, sondern weil jede Unregelmässigkeit im Antrieb der Saite zu starken Schwankungen der Amplitude und zu Unzuträglichkeiten führt, die ich hier nicht ausführlich besprechen kann.

Die zwölf Aufnahmen (Figg. 1—12) der ersten Versuchsserie sind in den Zinkdrucken (p. 489—490) veranschaulicht. Der Zinkdruck stellt nicht den ganzen Verlauf des Experimentes dar, sondern nur Anfang und Ende jeder Gruppe; zwischen den beiden Teilen *a* und *b* jeder Gruppe fehlen nur wenig Perioden. Die beiden Gruppen unterscheiden sich nur dadurch, dass im ersten Fall die Membran völlig frei schwang, während die Gruppe II die Einflüsse einer künstlichen Dämpfung der

Membran durch Gummi zeigt, welches auf deren Mitte aufgedrückt wurde. Nachfolgende Tabelle mag eine Uebersicht geben über die einzelnen Unterschiede innerhalb jeder Gruppe.

Gruppe		Perioden	Amplitude	bifilarer Vorschalte- Widerstand
I	II			
1	7	100	gross	200
2	8	100	mittel	500
3	9	100	klein	900
4	10	60	gross	200
5	11	60	mittel	500
6	12	60	klein	900

Auf den Abbildungen gewahrt man eine feine Linie, die an die Abscissenaxe der graphischen Curven erinnert. Sie wurde dadurch gewonnen, dass die Trommel bei ruhiger Membran einmal vorüberlief. Eine starke Gelbscheibe vor dem Objectiv verhinderte dabei, dass sich die Linie zu stark abzeichnete.¹⁾ Diese Linie soll kurzweg „Mittellinie“ genannt werden, wenn- gleich sie uns beim ferneren Verlaufe in verschiedener Bedeutung begegnen wird. Im vorliegenden Falle verdient sie diese Bezeichnung nur insofern, als sie die Ruhelage der Membran vor dem Anklingen und nach dem Abklingen an- giebt. Während der Erregung aber rückt die Membran dauernd dem Magnet etwas näher, was von einem Nebenschlusse von 5000 Ω herrührt. Der Nebenschluss hätte übrigens wegbleiben dürfen, da im ganzen Stromkreise nur geringe Induction herrschte.

Das erste, was bei der Betrachtung hinsichtlich der Curvengestalt auffällt, ist die erstaunliche Regelmässigkeit, mit welcher jede Periode innerhalb des stationären Verlaufes sich wiederholt. Ferner das eigenartige Aussehen, die Aenderung dieser Gestalt je nach der Periodendauer, schliesslich das An- und Abklingen, worauf das Auge leider schon künstlich durch die Verdoppelung der Linie (Zeitmarkirung) gelenkt wird.

1) In der Reproduction durch Zinkdruck wurde die Mittellinie künstlich nachgezogen und verlor jede Feinheit; ebensowenig entspricht die Liniendicke der Curven der ursprünglichen Feinheit, von der am ehesten die Curven 1—10 u. 25—26 der Tafel II eine Vorstellung geben.

Beginnen wir die Betrachtung der Curve mit dem Anklingen selbst, und zwar zunächst in Gruppe I!

Der erste Stromimpuls nach Einschalten der Erregung bringt sogleich eine starke Durchbiegung der Membran hervor, die auch im Wiederholungsfalle und selbst bei weiterem Verlaufe nicht merklich grösser wird. Naturgemäss ist das Bild bei beiden Periodenzahlen im ersten Anfange das gleiche; dagegen bemerken wir, dass der stark hervortretende Oberton — der, wie wir später erfahren und auch wohl jetzt schon erraten, der Grundton der Membraneigenschwingung ist (nämlich *es'* mit ca. 610 Schwingungen pro Sec.) — im Falle 1—3, also bei 100 Perioden, bald eine Verstärkung erfährt, während er bei den Curven 4—6 bei der Wiederholung, also bereits von der zweiten Periode ab eine Abnahme erleidet.

Anscheinend kann sich der Eigenton der erzwungenen Schwingung von 100 Perioden besser anpassen, als der von 60 Perioden. Ohne dem Grunde nachspüren zu wollen — was wohl gar nicht so leicht ist, als es im ersten Augenblick erscheinen mag — bemerken wir eine starke Abhängigkeit der Schwingungsform von dem Verhältnisse, in welchem erzwungene und Eigenschwingung zu einander stehen. — Wie weit hierbei kleine Aenderungen in Frage kommen, lässt sich wohl vermuten aus späteren Studien über die Eigentöne der Membran selbst; einstweilen fehlt mir noch das Material zu einer sicheren Angabe. (Die Erscheinung tritt noch stärker in Fig. 3 zu Tage.)

An Obertönen gewahren wir noch mühelos einen dreifach so hohen, also von ca. 1800 Schwingungen, und mit der Lupe finde ich noch einen etwa 10 mal so hohen von ca. 6000 Schwingungen. Beim Versuch, die Eigenschwingungen durch Photogramme nachzuweisen, konnte ich als höchsten nur einen von 3800 Schwingungen ermitteln, weil die Unterbrechungsvorrichtung bei weiterer Steigerung der Geschwindigkeit Schaden litt. Dagegen hat Max Wien bei einem Apel'schen Dosentelephon noch deutlich einen Eigenton von 5600 Schwingungen constatirt.¹⁾

Es drängt sich die Vermutung auf — und auch andere

1) M. Wien, Ann. d. Phys. 4. p. 454. 1901.

Beschauer der Curven kamen auf diesen Gedanken —, dass diese hohen Schwingungen durch elektrische Schwingungen beim Oeffnen und Schliessen des Stromes hervorgerufen werden könnten; wenngleich deren lange Andauer wenig Aussicht auf Wahrscheinlichkeit dieser Annahme hat, so könnte immer noch die Möglichkeit vorhanden sein, dass ein Oberton in der Nähe dieser Schwingungszahl erregt wird und allmählich ausklingt. Die Curven zeigen in der That hauptsächlich beim Oeffnen und Schliessen, also beim Beginn jeder Epoche, die hohen Obertöne, und zwar verlieren diese rasch an Amplitude, klingen aber recht lange nach; bei der stromerfüllten Epoche, d. h. bei starker Membrandurchbiegung, verlieren sie sich in den Curven der Gruppe I bei Stromschluss etwa nach 0,002 Sec., während sie fast die ganze stromlose Epoche erfüllen; bei den künstlich gedämpften Schwingungen der Gruppe II ist das Verhältnis umgekehrt, aber an und für sich der Verlauf kürzer. Es wird gewiss gebilligt werden, dass ich auch auf diese Erscheinung hinweise, auch ohne allerhand Mutmaassungen zu äussern. (Man denke nur an die andauernden labilen Zustände beim Singen der Simon-Dudell'schen Bogenlampe).¹⁾ An und für sich ist es erfreulich, dass solche Erscheinungen sich photographisch so leicht festhalten lassen; für genauere Untersuchungen können auch die Photogramme erheblich vervollkommen werden.

Bei jähen Aenderungen der Membranschwingung, z. B. beim Anschlagen auf Gummi, entstehen ähnliche Erscheinungen; sie sind in Tafel II, Nr. 1 abgebildet, doch beträgt die Schwingungszahl weit weniger.

Bei dieser Gelegenheit habe ich auch die Linie aufgenommen, wie sie sich dem Auge darbietet. Die Trommel wurde festgehalten und die Belichtung durch Vorhalten einer Gelbscheibe gemildert. Man sieht hier deutlich, wie die höheren Partialschwingungen in der Richtung gegen die tieferen abweichen. Es sei noch bemerkt, dass ein Wackeln des Spiegels bez. ein Verbiegen oder eigenes Schwingen ganz aus-

1) Neuerdings hat A. Lampa, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien 110. (2a) p. 89—90. 1901, nachgewiesen, dass der Funke bei der Untersuchung periodisch sein kann, im allgemeinen aber wie bei hoher Selbstinduction.

geschlossen ist. Derartige Störungen sehen ganz anders aus. Ich werde in kurzer Zeit die Beobachtungen beim Photographiren hoher Töne von Stimmgabeln mitteilen.

Was nun das eigentliche „Nachklingen“ anbetrißt, so kann man es für die Curvenschar 1—6 leicht voraussagen, nachdem man sich den Vorgang innerhalb einer einzelnen Schwingungsperiode klargelegt hat. Ohne Kenntniss dieser Erscheinung möchte es schwer gefallen sein, sich eine zutreffende Vorstellung zu machen. Aber wir sehen ja, dass jede Periode für sich ein Anklingen und ein Abklingen bedeutet, dass die Membran mit auf den Weg bekommt genau das Gleiche, was sie jedesmal hinterlässt: einen kleinen Rest von Eigenschwingungen. Für das Auge also fast nichts! Wie aber steht es mit der Wirkung auf das Gehör? Um hier einen Maassstab anlegen zu können, müssen wir uns zunächst nicht nur die physikalischen, sondern auch die physiologischen Wirkungen sowohl der Grundschiwingung, als auch der Obertöne vergegenwärtigen. Nun ist zur Genüge erwiesen, dass tiefe Töne wie *As* (100), oder noch tiefere relativ schlecht vernommen werden, während *es''* (610) eine Tonlage repräsentirt, für welche wir das feinste Auffassungsvermögen haben. Ferner wissen wir¹⁾, dass betreffs der völligen Beurteilung eines Tones innerhalb der bequem wahrnehmbaren Schwingungszahlen ungefähr 16 Schwingungen dem normalen, unbefangenen Ohr bereits genügen; mithin die Anzahl der Schwingungen maassgebend ist. Betrachten wir von diesem Standpunkte aus den physiologischen Wert des Photogrammes, so darf wohl behauptet werden, dass der Hörende gar nicht den Eindruck des Grundtones in erster Linie empfängt, sondern dass er glauben wird, den Ton *es''* als Hauptton zu vernehmen, untermischt mit unreinen Nebenklingen, theils höheren, theils tieferen. Der musikalische Charakter entsprach ja in der That nicht einem harmonischen Ton, oder besser gesagt Klang, sondern einem schreienden, wenig angenehmen Geräusch, aus welchem sich *es''* vernehmlich abhob, ausserdem einige unangenehme

1) Vgl. W. Kohlrausch, Wied. Ann. 10. p. 1. 1880. Dasselbst fand Kohlrausch übereinstimmend mit Exner, dass die Charakteristik eines Tones nach 16 Schwingungen nicht mehr zunimmt.

sehr hohe Töne hörbar waren. Auch das gedämpfte Bell-Telephon bei den Versuchen des Hrn. Prof. Külpe gab mehr ein krächzendes Geräusch, denn einen definirbaren Ton.

Die Grenze für das Verschwinden des Tones (Geräusches) lässt sich überhaupt nicht scharf angeben; solange man sichtbare Schwingungen erkennt, hört man auch den Ton. Da aber die Energie (nahezu) mit dem Quadrat der Amplitude wächst bez. fällt, so verlieren die kleinen Nachzügler beim Ausklingen bald ihre Bedeutung. Wenn nicht die psychologische Auffassung dieses Ausklingens wegen der Verschiedenheit des Klanges von dem Vorhergegangenen in Betracht gezogen wird, so braucht man dem Nachklingen an und für sich nur wenig Bedeutung zuzumessen. Freilich können die Fälle sich gerade so treffen, dass, wie es in Fig. 2, Nr. 3 möglich wäre, der automatische Einschalteapparat auf $\frac{13}{100}$ Sec. eingestellt ist, aber thatsächlich die 14. Periode eben noch einschaltet. Physiologisch hervorstechend sind hierbei, abgesehen von der minimalen Wirkung des Grundtones, nur die Obertöne der ersten Periodenhälften; das sind insgesamt 39 berechnete Obertöne, dazu kämen am Schlusse mindestens vier ungewollte Obertöne, also 10 Proc. mehr. Will man diese Rechnung nicht anerkennen, d. h. verzichtet man nicht auf die Wirkung der ganz schwachen Wellen in der stromfreien Epoche, so müssen andererseits auch noch die kleinen Wellenzüge am Ende in Anrechnung kommen und der Einfluss bleibt mindestens der gleiche.

Bei solch kurzen Zeiträumen thut man in vorliegenden Fällen gut, einen Zeitfehler von 10 Proc. anzuerkennen. Dass dem auch anders sein kann, lehrt Curve 5, worin das Nachklingen erstaunlich gering ausfällt. Die beste Auskunft giebt bei ganz exacten Fragen immer wieder das Photogramm. Namentlich gilt dies in Fällen, wo die natürliche Bewegung der Membran durch irgend eine äussere Zuthat entstellt wird. Die Curven der Fig. 3 legen davon ein beredtes Zeugnis ab. Das groteske Aussehen, sowie auch das beträchtliche Nachklingen lassen die Zweckmässigkeit der von mir auf gut Glück gewählten Dämpfungsvorrichtung fraglich erscheinen. Der Anschlag, oder richtiger gesagt das Aufstützen der Membranmitte auf eine, wenn auch weiche und elastische Unter-

lage, gab geradezu Veranlassung zur Bildung von Partialtönen¹⁾ und wirkte ähnlich wie das Festhalten eines Punktes als Knotenpunkt. Die complicirte Curvengestalt macht mehr oder weniger den Eindruck einer gewissen Willkürlichkeit. Man kann sich sehr wohl vorstellen, dass durch geringfügige Aenderungen ein ganz anderes Aussehen hergestellt wird. Die Abhängigkeit von der Periodenzahl ist eine recht erhebliche.

Eine Analyse zu geben, macht hier schon grössere Schwierigkeiten, wie bei den Schwingungen ohne künstliche Dämpfung. Zunächst scheint ein Oberton von 300 Schwingungen vorhanden zu sein, der also für die Curven 7—9 die Rolle des dritten Partialtones und für die Curven 10—12 diejenige des fünften Partialtones spielt. Unterstützt wird diese Vermutung durch den wahrgenommenen Klang, woraus das *es'* (300) sehr stark herauszuhören war. Den Eigenton *es''* kann man in reiner Form gar nicht mehr herausfinden. Dagegen ist in den Curven 7—9 der neunte Partialton, in 10—12 der achtzehnte Partialton deutlich ersichtlich.

Ausserdem finden sich, wie bereits erwähnt, wiederum die für kurze Zeit auftretenden hohen Töne von ca. 6000 Schwingungen, die eventuell mit den elektrischen Schwingungen beim Oeffnen und Schliessen des Stromes in Verbindung gebracht werden können. Dass sie hier schneller verschwinden, braucht nicht auf Rechnung der Gummidämpfung gesetzt zu werden; denn es hat sich in vielen (hier nur teilweise abgebildeten) Fällen gezeigt, dass die äussere Dämpfung aus Gummi oder dergleichen gar nicht im stande ist, die ganz hohen Schwingungen zu vernichten. (Vgl. Fig. 8 auf p. 521).

Das Ausklingen vollzieht sich hauptsächlich auf dem Ton *es'*. Es macht für das Auge einen stärkeren Eindruck, als es in den früheren Fällen that. Aber die akustische Empfindung und Wahrnehmung kann doch recht gering bleiben, ja geringer sein als früher. Im grossen und ganzen darf man ja aus den Formen der Curven auf den Klangcharakter eines

1) Sollte die Hebelübertragung bei der sonst angewandten Methode nicht ähnliche Vorkommnisse, wenn auch in schwächerem Maasse bewirken!?

Tones schliessen; dann verraten die Curven 7—12, namentlich 7 und 10, einen reich gefärbten, lebhaften Klang. Wiederum gaben grosse, fast sinusförmige Membranschwingungen, welche (wie später) durch Wechselstrom von einer Dynamo hervorgebracht wurden, einen ganz schwachen, leeren Klang. Zu dieser Kategorie zählen auch die runden Wellen beim Ausklingen. Man wird kaum das Bewusstsein haben, dass noch etwas nachklingt, sondern der Toneindruck wird mit dem Erlöschen der färbenden Obertöne sein Ende erreichen.

Die Curven selbst geben aber nicht immer das vollständige Bild des Klangcharakters der Schwingungen; denn es treten oftmals weit mehr Obertöne in einem Klang auf, als es sich aus den Curven selbst heraussehen lässt.¹⁾ Was da für Gründe mitspielen mögen, kann hier nicht untersucht werden. Ich erinnere aber an den Klang von Harmoniumzungen, der doch recht reich an Obertönen sein kann. Der Schwingungsvorgang der Zunge selbst verläuft einfach sinusförmig. Hierbei weiss man zwar, dass complicirte Luftschwingungen bei dem Durchschlagen der Zunge durch den Kasten (die Fassung) solche Obertöne verursachen. Aber warum gerade dieser oder jener stärker enthalten ist, lässt sich schwerlich motiviren. Aehnliche complicirte Einflüsse mögen den Grund zu der Reichhaltigkeit des Klanges an Obertönen bilden, wie sie bei Membranschwingungen wohl vernommen wurden, aber nicht aus den Photogrammen ersehen werden können. Die Mittel, die vorhandenen Obertöne qualitativ aufzufinden, sind bekannt. Das musikalische, geübte Ohr hört schon ohne weiteres einige Obertöne heraus. Ein anderes, sehr einfaches Hülfsmittel, von dem ich nicht weiss, ob es allgemein bekannt ist, besteht darin, dass man sich in einiger Entfernung, etwa 3—4 m, von dem tönenden Körper aufstellt, und sich ihm nun absatzweise nähert.

Das Ergebnis der besprochenen Untersuchungen kann endlich folgendermaassen zusammengefasst werden:

1) Es wurde freilich a priori, d. h. ohne Controle vorausgesetzt, dass die an dem beliebig herausgegriffenen Ort der Spiegelbefestigung herrschenden Schwingungen sich aus allen überhaupt vorkommenden Schwingungen zusammensetzen.

1. Die Telephonmembran reagirt *fast momentan* auf Stromimpulse; aus späteren Untersuchungen berechnet sich die Latenzzeit auf etwa 0,0005 Sec. (vgl. Taf. II, Fig. 17).

2. Die Maximalamplitude wird bei Aufeinanderfolge periodisch congruenter erregender Kräfte nach längstens zwei Perioden constant.

3. Nach eben dieser Zeit hat sich die Curvenform der Schwingungen so herausgebildet, dass sie im weiteren Verlaufe keine Gestaltsänderung erfährt.

4. Das Anklingen wird als solches kaum wahrgenommen werden.

5. Das Abklingen kann empfunden werden, wenn höhere Schwingungen genügend lange anhalten, oder wenn sich der Charakter des Klanges wesentlich von dem vorherigen abhebt. Im allgemeinen wird die Wirkung gering sein.

6. Die Curvengestalt (der Klangcharakter) ist von der Periodenzahl der erzwungenen Schwingungen abhängig.

7. Eine Gummidämpfung in der Mitte der Membran (so wie hier geschehen) verändert den Klang wesentlich und kann den physiologischen Wert des Abklingens schwächen.

8. Das magnetische Relais reagirt nicht empfindlich genug. Das Telephon giebt bei diesen einfachen übersichtlichen Fällen selbst am schärfsten die Zeitmarke für Beginn und Ende der Erregung.

Statt eines rotirenden Spiegels, der manchmal umständlich anzubringen ist, verwendete ich ein ganz einfaches Hilfsmittel. An die Stelle des Brennpunktes brachte ich ein helles Papier, das ich mit der Hand schnell hin und her bewegte, senkrecht gegen den Lichtstrahl. Blickte man im halbdunklen Raume von der Seite gegen dieses Papier, so zeichneten sich die Curven scheinbar im Raume ab. Dieses Mittel ist namentlich zur provisorischen Beurteilung sehr empfehlenswert.

Nach dieser Versuchsserie musste ich eine längere Unterbrechung eintreten lassen. Principiell Neues hätte auch eine Fortsetzung in gleicher Weise nicht erwarten lassen. Um aber die bisherigen Resultate zu veröffentlichen, schien mir doch die Behandlung der Aufgabe gar zu lückenhaft. Wenn- gleich ich voraussah, dass es mir ohne grossen Aufwand an

Zeit gar nicht möglich werden konnte, das zur erschöpfenden Behandlung des Stoffes notwendige Material zu sammeln, griff ich dennoch nach einigen Monaten den Gegenstand wieder auf.

Ich versuchte das An- und Abklingen auch bei sinusartigen Erregungsströmen darzustellen, ferner die früher behandelten Fälle mannigfaltiger zu gestalten und in eine für die Reproduction passende Form zu bringen. Leider erwiesen sich die Hilfsapparate als unzureichend, sodass ich von dem umfangreichen Material nur wenig verwerten konnte, und zur Veröffentlichung nur diejenigen Curven heranziehen will, die

Fig. 4.

an und für sich Interessantes enthalten und gleichzeitig das Wesen der Versuchsanordnung erklären.

Das Fehlerhafte an dem Hilfsapparat zum Ein- und Ausschalten des Stromes bei gleichzeitig optischer Markierung dieser Momente mag in mancher Hinsicht lehrreich sein und es soll deshalb kurz die Construction und Wirkungsweise beschrieben werden (vgl. Fig. 4).

Es war mir sehr wohl bekannt, dass Rotationsbewegungen mechanisch am präzisesten herzustellen sind. Schliesslich baute ich ja auch eine Vorrichtung, wobei das Ein- und Ausschalten von laufend abgedrehten Teilen übernommen wird. Was mich damals abhielt, eine derartige Construction zu wählen, war einerseits die Aussichtslosigkeit, innerhalb weniger

Tage in den Besitz eines derartigen Apparates zu gelangen (abgesehen von den höheren Herstellungskosten), ferner fürchtete ich den ganzen Aufbau und besonders das Diaphragma — die Lampe etc. standen auf einem hohen Eisengestell — in kleine Schwankungen zu versetzen, welche sich naturgemäss abbilden müssten. Daher liess ich einen einfachen Apparat herstellen, der zur Aufgabe hatte, das unzweckmässige magnetische Relais durch ein mechanisches zu ersetzen, das direct von dem herabfallenden Schlitten ausgelöst werden sollte. Ein präcis gezogenes Messingrohr von 1,50 m Länge stand vertical, montirt auf ein starkes Holzgerüst, das nach jeder Richtung versteift war. Am oberen Ende des Rohres wurde ein massiver Messingcylinder von 12 cm Länge durch eine in das Rohr hineinragende Nase gehalten, die vor einem Magnetanker sass.¹⁾ Wenn der automatische Verschluss des Objectives herunterfiel, so schloss er vorübergehend einen Stromkreis, worin der Magnet zur Arretirung des Messingcylinders eingeschaltet wurde. Der Cylinder glitt daraufhin durch das Rohr und begegnete kurz vor dem unteren Rohrausgang dem in das Rohr hineinragenden Ende des Hebelarmes H , und drückte dieses heraus. Am anderen Hebelende sass ein mit einem Loche versehenes Stück Neusilberblech.

Der obere Rand des Loches verdeckte gerade ein über dem ersten Lichtpunkte sitzendes zweites Diaphragma. (Aehnlich wie bei den Magnetrelais, nur um 90° gedreht.) Beim Ausbiegen des Hebelendes — also während des Vorübergleitens des Messingcylinders — wurde der zweite Lichtpunkt frei und zeichnete sich als parallele Linie über die Photogramme ab. Der Hebelarm H_2 lagerte auf der excentrischen Stellschraube S , eine starke Spiralfeder aus Stahldraht sollte für das schnelle Zurückschnappen des Hebels nach erfolgtem Passiren des Gewichtes sorgen. Wenn nun der Messingcylinder (der noch eine Schleifbürste tragen könnte) an der Nase des Hebels vorbeiglitt, so schloss er den Strom zwischen dem isolirten Hebel und dem Rohr und endlich mit dem Telephon. Die Zeitmarke hätte wegen der grossen Fallgeschwindigkeit mit verschwindend

1) Die Fig. 4 zeigt nur die am unteren Rohrende befindlichen Vorrichtungen, sowie den Falleylinder in seiner späteren Form.

kleiner Verzögerung den Eintritt des Stromes angezeigt; dagegen konnte die für das Zurückschnappen notwendige Zeit immerhin messbar gross werden, etwa 0,002 Sec. Aus diesem Grunde empfahl mir Hr. Prof. Wien, den Strom nicht durch das Rohr zu leiten, sondern durch die Stellschraube *S*, bez. an dieser Stelle einen Kurzschluss aufzuheben. Dann musste allerdings das zweite Zeichen der optischen Marke mit ganz geringem Vorsprung einsetzen. Ausserdem gestattete diese Einrichtung die Möglichkeit der Umschaltung des Telephones auf eine anders geartete erregende Kraft bei möglichst geringem Zeitverlust; etwa durch Herstellung einer leitenden Verbindung mit einem federnden Contact (*K*), wie es später auch geschah.

Die ersten Aufnahmen, wovon eine in Fig. 2, Taf. II abgebildet ist, berechtigen zu der Annahme, dass der Apparat gut functionire. Der vorliegende Fall bezieht sich auf die Darstellung des An- und Abklingens bei Erregung durch Wechselstrom aus einer einpferdigen Gleichstrom-Drehstrom-Umformermaschine von Siemens & Halske.

Das Bild sieht recht merkwürdig aus. Dass die Linienverdoppelung kurz nach dem Anfang aussetzt, braucht nichts anderes zu bedeuten, als dass der Hebel H_2 etwas über das eingestellte Bereich hinausflog und nochmals eine Rückwärtsbewegung ausführte, gross genug, um für einen Augenblick die Zeitmarke zu verdecken, nicht aber, um wieder für eine wenn auch noch so kleine Zeit die früheren Stromverhältnisse — also Kurzschluss — herzustellen. Auch das Abklingen enthält nichts Unwahrscheinliches, namentlich solange man keine andere Darstellung kennt. Dasselbe konnte ich von den übrigen Curven der gleichen Gattung aussagen, die alle nichts Unnatürliches enthielten. Nur schien mir das Voreilen der Zeitmarke vor dem Abklingen zu gross. Ich verstärkte deshalb die Zugfeder für das Zurückschnappen; ferner vergrösserte ich die Strecke, um welche der Hebel zurückgebogen werden sollte. Von da ab stellte sich ein Fehler ein, den ich leider nicht gleich erkannte, zumal mich die eben besprochene Reihe von Aufnahmen in den Glauben versetzte, der Apparat arbeite zuverlässig.

Die Möglichkeit, dass die Verschiedenheit in der Art des

Stromschlusses einen neuen Charakter des Schwingungsanfanges herbeiführen könnte, lag immerhin vor; indessen deutet das ganze Aussehen doch mehr auf eine unsichere Contacthebung hin. Spätere Bilder lassen darüber keinen Zweifel mehr zurück, dass eine Willkürlichkeit des Hebels beim Aufschlagen — also nach dem Zurückschnappen — vorgelegen hat. Manchmal sieht es sogar aus, als ob der Hebel nicht nur einmal von dem Contact zurückgesprungen ist, sondern 2—3 mal. Das Verschwinden und Wiederauftauchen der Zeitmarke beweist an und für sich noch nichts. Die Vermutung, dass der Hebel sich beim Aufschlagen in Richtung des Federzuges durchbiegen würde, wird wohl der Unbefangene viel eher teilen, als diejenige, dass das Hebelende zurückprallen möchte, wie ein elastischer Hammer auf den Amboss. Ich habe auf Grund dieser Erscheinung solche Versuche angestellt. Der Hammer prallt meistens in grossen Intervallen von der Grössenordnung $\frac{1}{10}$ Sec. vom Amboss zurück im bekannten Rhythmus des Schmiedehammers.

Es gelingt aber, wenn man den Hammerstiel fest und steif umfasst und den Hammer mehr drückend statt schlagend auf den Amboss fallen lässt, das eigentliche Zurückprallen zu verhindern. Statt dessen hört man einen knirschenden Ton von unbestimmter, wenn auch metallischer Färbung, und mittlerer Höhe. Ein derartiger Ton kann nach W. Kohlrausch bereits durch zwei kurze Perioden erzeugt werden.¹⁾ Um solch zitteriges Aufschlagen scheint es sich beim Zurückprallen des von der starken Feder festgehaltenen Hebels zu handeln. Ich erwähne diese Experimente nicht einer amüsanten Spielerei halber, sondern weil die Vermutung nahe liegt, dass beim Anschlagen von Hämmern oder dergleichen auf schwingende Körper, z. B. Klaviersaiten, Stimmgabeln etc. auch solche Wiederholungen des Aufschlages vorkommen müssen, und zur Ermittlung der Zeit und der Beschaffenheit des Anschlages lässt sich das Telephon anscheinend verwenden.

Wir kehren nun zur Besprechung der Curven zurück, die trotz dieses Fehlers immerhin einiges zeigen, weswegen sich deren Abbildung verlohnt.

1) W. Kohlrausch, Wied. Ann. 7. p. 335. 1879.

Die Curve 2, Taf. II ist keineswegs typisch. Vielmehr trägt an ihrem Aussehen der Umstand die Schuld, dass der permanente Magnetismus infolge zu starker Wechselströme eine erhebliche Einbusse erlitten hatte. Es ist bekannt, dass bei Magnetsystemen, deren Sättigung innerhalb der Constanz des Magnetisirungsfactors (sogenannte μ -Curve) liegt, die symmetrischen Wechselströme auch symmetrische Verstärkungen und Schwächungen hervorbringen. Liegt die Sättigungsstelle niedriger, so treten die in Nr. 6—9 wiedergegebenen Unsymmetrien auf, sobald der Strom genügend stark ist. Ich versuchte in der gewöhnlichen Weise (durch allmähliches Verschwindenlassen eines anfänglich starken Wechselstromes) den Stahlmagneten völlig zu entmagnetisiren, was offenbar nicht gelang, wie die Curven Nr. 8 und 9 lehren. Vor Herstellung der Curve 9 wurde die Entmagnetisirung vorgenommen (vgl. Nr. 8); unter der Nachwirkung dieses Wechselstromes steht wiederum der Vorgang in Curve Nr. 9. Die Curven 6 und 7 entsprechen ungefähr den Periodenzahlen 25 und 50 und sollen neben der eben besprochenen Erscheinung noch zeigen, dass der zwölfte Oberton dem Maschinenstrom angehört. Er wird in Nr. 7 von der Eigenschwingung etwas begünstigt. Curve 10 und 11 geben das Bild eines symmetrischen Verlaufes der erzwungenen Schwingung in zwei Stärken. Die Membran gehört einem Hörer von Siemens & Halske an; die Schwingungen selbst entsprechen aber einer wesentlich geringeren Durchbiegung.

Hier ist auch der Platz, einiges über die absoluten Grössen dieser Durchbiegungen zu erörtern. Um sie annähernd zu berechnen, nehmen wir an, der Spiegel bewege sich mit der geraden Verbindungslinie zwischen der Membranmitte und deren innerem Rande. (Thatsächlich erfahren die dazwischenliegenden Teile der Membran für gewisse Stellen eine grössere Drehung.) Es verhält sich alsdann die Grösse der Senkung d (Durchbiegung) zu dem Wege A des zeichnenden Lichtpunktes auf der Platte wie der Radius R der Telephonmembran zu der zweifachen Brennweite f :

$$\frac{d}{R} = \frac{A}{2f};$$

dieses Verhältniss ist maassgebend für die Beurteilung der relativen Beanspruchung der Membran. Der Wert für d selbst

soll wegen der leichteren Vorstellbarkeit ebenfalls angeführt werden. Es beträgt für die Curven auf p. 489 u. 490, welche mit Spiegel foc. 30 cm hergestellt waren:

$$\frac{d}{R} = 0,006, 0,001, 0,00025; \quad d = 0,18, 0,06, 0,015 \text{ mm} \\ (\text{angenähert}).$$

Da ja im allgemeinen im Telephon schwache Erregerströme zur Wirkung kommen, so muss es zwecklos erscheinen, solch grosse Durchbiegungen wie 0,18 mm bei $R = 30$ mm zu untersuchen. Die in den folgenden Tafeln reproducirten Vocale etc. durften nicht mehr als einer durchschnittlichen Durchbiegung der Membran von 0,02 mm entsprechen, ohne bereits eine Beeinträchtigung des Klangcharakters zu erfahren, und zwar bei einer weit grösseren Membran.

Um aber nicht mit gar zu niederen Curven fürlieb nehmen zu müssen, war es nötig, die Brennweite des Hohlspiegels zu vergrössern; ich ging dabei bis zu einer Brennweite von 200 cm. Dass sich damit ohne weiteres feine Linien nicht mehr herstellen liessen, ist wohl einleuchtend. Denn bei meiner Linse von 56 cm Brennweite hätte das Bild eines Diaphragmas von 0,1 mm Durchmesser fast die vierfache Grösse erreicht. Damit hätte ich keine scharfen Linien erzielen können. Zum Eigenstudium ist es ja recht gut angängig, sogar vorzuziehen, kleinere Brennweiten zu verwenden, langsamen Trommelgang und möglichst enges Diaphragma. Nur ist zu bedenken, dass Löcher von beträchtlich geringerem Durchmesser als 0,1 mm starke Beugung zeigen. Die Linie von 0,05 mm Dicke, welche man bei Anwendung eines Spiegels von halber Brennweite des Objectives erhält, reicht aber aus, um viele Feinheiten zu erkennen, namentlich wenn durch nachfolgende Anordnung das Uebersetzungsverhältnis nahezu verdoppelt wird, ohne die Schärfe des zeichnenden Lichtpunktes zu ändern.

Der Kunstgriff besteht darin, dass das vom Hohlspiegel H (Fig. 5) reflectirte Licht nicht gleich auf die photographische Platte vereinigt wird, sondern dass es erst einen festen Planspiegel P' trifft, welcher das Licht nunmehr als bereits concentrirtes nochmals auf den beweglichen Spiegel zurückwirft. Die Brennweite wird auf diese Weise verkürzt, daher die Schärfe des Bildes gesteigert, der Ausschlag entspricht mithin der ur-

sprünglichen Brennweite des Spiegels. Zu diesem Experimente dürfen natürlich nur Präcisionsspiegel mit Oberbelag verwendet werden (vgl. Anhang). Der erhöhte Lichtverlust durch mehrfache Reflexion ist wohl misslich, kann aber durch Anwendung eines grösseren Spiegels — etwa 15 mm Durch-

Fig. 5.

messer — compensirt werden, sodass eine für die Reproduktion hinreichende Schwärzung eintritt. Für das Selbststudium genügt schon der vierte Teil des Lichtes hinlänglich; mir aber musste daran gelegen sein, recht contrastreiche Negative zu erzielen, um Originalbilder veröffentlichen zu können.

Die Curven Nr. 2 u. 6—9 sind noch mit Hohlspiegeln foc. 50 cm hergestellt¹⁾, dagegen Nr. 1, 3—5, 10 u. 11 mit foc. 100 cm.

Die Maschine lieferte bei 100 Wechseln pro Sec. eine Mindestspannung von 70 Volt. Es wäre deshalb wohl geeigneter gewesen, bereits hier — so wie es späterhin geschehen ist — das Telephon in den Nebenschluss zu legen, um die Spannung an der Unterbrecherstelle herabzusetzen. Hier aber wurden zunächst bifilare Widerstandsrollen vorgeschaltet, um die Stromstärke zu verringern. Die Richtung oberhalb der Abscissenaxe entspricht wieder der Anziehung. Nach dieser Richtung hin ist auch die Symmetrielinie der Curve verschoben weil mit der Näherung der Membran an die Polschuhe der magnetische Widerstand herabgesetzt wird, und daher der verstärkenden Hälfte der Stromcurve ein erhöhter magnetischer Effect zukommt. Wir sehen daher die Mittellinie, welche der Ruhelage entspricht an einer Stelle, welche weiter von den Polschuhen des Magnets entfernt ist, als die eigentliche Symmetrie-

1) Ohne doppelte Reflexion, ausserdem mit Spiegelunterbelag.

linie.¹⁾ Aber etwas viel Merkwürdigeres enthalten die Curven 3—5: nur in einem Falle (Nr. 4) stellt sich die Membran nach dem Abklingen, und zwar erst allmählich wieder, in die frühere Ruhelage ein; die anderen Curven, wie auch viele ähnliche nicht abgebildete der gleichen Serie, zeigen, dass die Membran dazu neigt, ganz langsam von der Stelle ab, bei welcher die erregende Kraft ausliess, sich der Ruhelage zu nähern; es hat sogar den Anschein, als ob für längere Zeit ein Verharren ausserhalb der Gleichgewichtslage vorliege. Bei vorhergehenden Versuchen zeigte es sich, dass, wenn ich den Strom zu irgend einer Controle einschaltete und unterbrach, kurz darauf die Ruhelinie aufzeichnete und erst dann den automatischen Ein- und Ausschaltprocess sich abspielen liess, dass dann die Ruhelinie eine falsche Stellung einnahm. Namentlich gab die erste Anordnung (wie bei Curve 2) Gelegenheit zur Wahrnehmung dieser Erscheinung.

Den eigenartigen Einfluss einer Gummidämpfung sieht man in Abbildung Taf. II, Nr. 5 sowohl auf die Curvengestalt, wie auch auf das Nachklingen selbst, das hier an die früher schon besprochenen Wellenformen erinnert. (Curve 7—12, Fig. 2.) Das Nachklingen der ungedämpften Membran verlief gerade bei den abgebildeten Curven recht spärlich; in anderen Fällen erstreckte es sich mitunter über den ganzen stromlosen Zwischenraum. Auch die hohen Schwingungen beim Oeffnen (das Schliessen soll hier wegen der Ungenauigkeit gar keine Berücksichtigung finden) des Stromes treten wieder auf. Die Curvengestalt der Sinusschwingungen ist je nach dem Grade der Annäherung des zwölften Obertones an die Tonhöhe der Eigenschwingung mehr oder weniger reich an solchen Partialschwingungen. In einigen Curven der gleichen Gattung sind sie kaum sichtbar.

In den Curven 12—16 wiederholt sich der Vorgang des An- und Abklingens kurz hintereinander; es wurde nämlich der Fallcylinder (Fig. 4, p. 503) späterhin aus zwei durch ein dünnes Zwischenstück *F* starr miteinander verbundenen Teilen C_1 und C_2 zusammengesetzt. Der Abstand des Contactes von der Excenterschraube *S* ist übrigens in dieser Figur der Deutlichkeit zuliebe stark übertrieben dargestellt.

1) In den Lichtdrucken ist die feine „Mittellinie“ oft nur ganz schwach herausgekommen; eine Lupe wird häufig das Auffinden erleichtern.

Die Curven dieser zweiten Serie über das Nachklingen und Ansprechen haben die grosse, auf die Herstellung verwendete Mühe nur gering gelohnt, weil infolge des schlechten Functionirens des Hilfsapparates das Anklingen selbst ganz entstellt ausfiel. Die Figurenserie 12—16, Taf. II, hat die Unbrauchbarkeit der Vorrichtung erwiesen.

Die Stärke und Beschaffenheit des unterbrochenen Gleichstromes, dessen Wirkung auf die Membran in den Figg. 12 bis 16 zum Ausdruck kommt, weicht von dem früher angewandten wesentlich ab. Die Ausschläge entsprechen einer Brennweite von 1,5 m und sind nicht grösser als 3 mm, also die Durchbiegung etwa 0,03 mm; dazu kommt, dass hohe bifilare Widerstände vorgeschaltet wurden, aber das Wasser an der Unterbrechungsstelle in den Quecksilbernäpfen des Saitenunterbrechers beseitigt worden war. Daher rührt nun auch die zackige Form der Schwingungen. Man muss bedenken, dass in den wenigsten Fällen, wo unterbrochene Gleichströme ins Telephon geschickt werden, die Unterbrechungsstelle unter Wasser steht. Die Wirkung eines Nebenschlusses wurde besonders untersucht, desgleichen festgestellt, dass die Curvenform keine merkliche Aenderung erfährt, wenn der Strom den Magneten schwächt, statt verstärkt. Auch ist die dämpfende Wirkung einer weichen, auf die Membranmitte aufgedrückte Masse in Curve 16 abgebildet. Als Dämpfungsmittel benutzte ich der Einfachheit halber die Innenseite meines Daumens, dessen Haut durch Benetzen und Reiben mit Wasser geschmeidig gemacht war. Die Stärke des dämpfenden Druckes ist ersichtlich aus dem Abstände der Ruhelinie von den Schwingungen selbst. Er übertrifft deren Grösse etwa um das Achtfache.

Anbei eine kurze Uebersicht über die Versuchseinzelheiten:

Nr.	Bifilarer Widerstand in Ω	Nebenschluss in Ω	Bemerkungen
12	2500	5000	} Membran wurde losgelassen.
13	2500	—	
14	2500	—	
15	2500	5000	} Membran wurde angezogen.
16	4000	—	

Die künstlich gedämpfte Schwingung zeigt, dass der hohe Oberton der Schwingung auf diese Weise kaum geschwächt, geschweige denn unterdrückt werden kann. Noch besser ge-

wahrt man dies in Fig. 8 auf p. 521, welche im Zinkdruck wiedergegeben ist. Das Bild selbst gehört einer später zu besprechenden Serie an.

Wegen der genannten Mängel gab ich die Fortsetzung dieser Versuche auf. Erst etwa ein halbes Jahr später, leider gegen Ende der mir zur Erledigung dieser vorliegenden Arbeit gestellten Frist, konnte ich mit Hilfe eines richtig arbeitenden Apparates wenigstens noch einige Aufnahmen herstellen, in welchen die Vorgänge beim Oeffnen und Schliessen so dargestellt sind, wie sie wirklich verlaufen. Ein reicheres Material über dieses Thema hoffe ich in nicht zu langer Zeit gewinnen zu können, von dem eine kleine Auslese den Nachtrag zu den weniger einwandfreien Darstellungen liefern soll. Einstweilen will ich die Construction und Thätigkeit des Hilfsapparates beschreiben.

In zwei versteiften Trägern aus Rotguss, die auf eine eiserne Grundplatte aufgeschraubt sind, lagern zwei einstellbare Stahlspitzen. Zwischen diesen läuft eine Stahlwelle, welche durch eine Riemencheibe mit zwei Schnurläufen (für verschiedene

Fig. 6.

Geschwindigkeit) gedreht wird. An die Riemenscheibe ist eine starke Hartgummischeibe angeschraubt, über welche ein Ring aus Bronzeguss gesteckt und durch Schrauben verbunden ist. Der Ring ist durch zwei dünne Sägeschnitte in zwei Hälften, R_1 und R_2 , geteilt worden, deren jede mit jeweilig einem Schleifring leitend in Verbindung steht.

Fig. 7.

Der Sägeschnitt ist durch ein Glimmerplättchen wieder ausgefüllt. Ausserdem läuft noch eine isolirt aufgesetzte, flachringförmige, am Rande abgeschwächte Scheibe mit, die an zwei symmetrischen Stellen ausgeschnitten ist. Einer der Ausschnitte ist in Fig. 7 bei L sichtbar. Dicht davor steht ein Schirm aus gewalztem Neusilberblech von $\frac{1}{10}$ mm Stärke, in welches zwei übereinanderliegende feine Löcher gebohrt sind. Das auf diese Diaphragmen vereinigte Licht der Bogen-

lampe findet stets den Ausgang durch die obere Bohrung; dagegen ist die untere nur für die kurze Zeit geöffnet, in welcher der Ausschnitt an ihr vorübergeht.

Bei *H* sehen wir einen isolirt aufgesetzten Tisch, von welchem aus sich eine breite Feder *F* über den Ring beugt und mit dem umgebogenen Ende auf diesen schleift. Es muss nun dieses Ende gerade in dem Augenblick über den Sägespalt hinübergehen, in welchem die vordere (scharfe) Kante des Ausschnittes vor dem unteren Diaphragma vorübergegangen ist. Auf der photographischen Platte erscheint für ganz kurze Zeit eine Linienverdoppelung. Der kritische Moment lässt sich bei präziser mechanischer Arbeit auf $\frac{1}{10}$ mm genau einstellen. Die Controle wird mit Auge und Ohr (Telephon) gleichzeitig ausgeführt.

Die Breite des Sägeschnittes ($\frac{2}{10}$ mm) wird von der zugeshrägten Feder gerade überdeckt, sodass theoretisch gar keine Unterbrechung eintritt, und praktisch wegen der grossen Umdrehungsgeschwindigkeit ebenfalls die Umschaltung momentan vor sich geht und ebensowenig eine gleichzeitige Zuführung beider Stromquellen ins Telephon eintreten kann. Jede Ringhälfte hat einen Umfang von ca. 150 mm. Nehmen wir die Umlaufgeschwindigkeit so gross an, dass für einen Strom von 50 Perioden jeweilig zwei Perioden eingeschaltet sind, was also 12,5 Umdrehungen pro Sec. entspräche, so könnte ein Fehler in der Einstellung von $\frac{1}{2}$ mm erst $\frac{1}{75}$ Periodendauer ausmachen; er wird aber thatsächlich bei den vorliegenden Aufnahmen nicht über $\frac{1}{500}$ Periode = $\frac{1}{25000}$ Sec. betragen; mithin selbst bei bedeutend grösserer Trommelgeschwindigkeit zu vernachlässigen sein. Die Schaltung ist wohl ohne weiteres einleuchtend. Alle stromführenden Teile sind durch Hartgummi isolirt. Eine Gefahr des Nebenschlusses besteht in dem knappen Zwischenraum des Sägeschnittes, bez. darin, dass sich über die ausfüllende Glimmerwand kleine Schichten von abgeriebenem Metall lagern. Deshalb muss eine Probe mit dem Telephon vorangehen, nötigenfalls mit feinem Schmirgelpapier die leitende Schicht beseitigt werden.

Alle rotirenden Teile sind zwischen Spitzen laufend exact abgedreht, sodass der mit Schrauben auf das Bogenlampen-

gestell montirte Apparat nicht die geringsten nachweisbaren Erschütterungen zeigt.

Der Antrieb geschah durch die Wechselstrommaschine bez. deren Motor, von welcher ein 3 m langer Schnurlauf (mehrfache Lagen von Hanffäden) herübergelegt war. Die Maschine selbst lief sehr ruhig.

Das An- und Abklingen bei Erregung durch Wechselstrom ist in Nr. 17 dargestellt. Verwendet wurde ein Telephon von Siemens & Halske älterer Art. Die grösste Durchbiegung — entsprechend einer Brennweite von 2 m — betrug ca. 0,06 mm. Aus der verhältnismässig ruhigen und durchaus glaubwürdigen Weise, wie sich hier das An- und Abklingen vollzieht, darf nicht etwa geschlossen werden, dass die früheren Bilder etwas Unrichtiges angeben (abgesehen von der genannten Unvollkommenheit). Vielmehr kommt hier die ungemein dämpfende Wirkung des kräftigen Hufeisenmagnetes zur Geltung, weitaus stärker als bei dem Hörer von Hartmann & Braun. Ausserdem lag hier das Telephon, ganz besonders mit Rücksicht auf seinen starken Oeffnungsstrom, im Nebenschluss, der durch den rotirenden Apparat gebildet und aufgehoben wurde, sodass von einem Oeffnungsfunken keine Rede mehr sein kann.

Das Abklingen zählt zwei bis drei rasch verlöschende Eigenschwingungen. Dann stellen sich zuweilen noch eine Reihe von kleinen Schwingungen ein, etwa der Tonhöhe 1200 entsprechend, die im Original manchmal bis zum Wiedereinsetzen der Bewegung verfolgt werden können, deren Decrement also nicht stark ist. Ausserdem lassen sich wiederum beim Oeffnen (weniger beim Schliessen) des Stromes etliche 20 Schwingungen eines Tones von ca. 3000 Schwingungen erkennen. Die Eigentöne dieses Hörers wurden nicht besonders ermittelt. Lebhafter gestaltet sich das Nachklingen, wenn die Erregung durch Mikrophonströme (Inductionsströme) geschah und in der lebhafteren Curvengestalt hohe Eigentöne erregt wurden. Diese Erscheinung ist besonders bemerkenswert wegen ihrer praktischen Bedeutung. Sie versinnlicht das störende blecherne Rasseln im Hörer (Nr. 18 u. 19).

In Nr. 20 u. 21 ist ein Fall künstlich herbeigeführt, der wohl in solch schroffer Form in der Praxis selten vorkommt; es lösen sich hierbei die beiden Erregungsarten, die vorher

einzelnen untersucht wurden, momentan, d. h. ohne jedes merkbare Zeitintervall ab. Alle die Vorgänge des An- und Abklingens werden sich hierbei superponieren. Eine längere Zeit als im vorliegenden Fall wird also die Membran niemals brauchen, um sich endgültig einer Bewegungsform anzupassen. Abgesehen von Störungen im Mechanismus der künstlichen Sprachübertragung könnte es ja möglich sein, dass in der Dynamik der Sprache selbst jähe Aenderungen eines harmonischen Zustandes vorliegen. Z. B. erwecken die auf sogenannte Explosivlaute folgenden Vocale oftmals den Eindruck einer jähen Aenderung. Ich habe Photogramme über diesen Gegenstand aufgenommen und thatsächlich solchen jähen Wechsel gefunden, allerdings nicht gerade da, wo ich sie am stärksten vermutete.

Die Curven für die Vocale sind nicht ganz homogen. Es mag der Grund darin gesucht werden, dass ich am Tage der Herstellung etwas erkältet war, dass also die Rauigkeit des Kehlkopfes mit ins Spiel kommen konnte; ausserdem hielt ich das Mikrophon in der Hand, weil ich gleichzeitig die Curven beobachten musste (vgl. Taf. IV—VI, Abbildung von Vocalen etc., worin die Gleichmässigkeit der Perioden deutlich hervortritt). Die Trommel lief mit 0,7 m Geschwindigkeit. Die Periodenzahl des Wechselstromes betrug rund 50 pro Sec. Der Name des Vocale thut hier nichts zur Sache; beachtenswert ist seine Lage, die als *f* ungefähr dem mittleren Sprachton einer Männerstimme zukommt; vor allem aber die Form seiner Periode, die in allen drei Fällen der Curve 20 nach längstens einer Schwingung regelmässig wird. Von der Curve 21 kann man fast dasselbe behaupten. Dem allgemeinen Eindruck nach hat sich also ein Uebergangsprocess nach etwa $\frac{1}{200}$ Sec. abgespielt.

In dem zu Nr. 22—24 gehörigen Experiment ist der alltäglich beobachtete Vorgang der Superposition zweier andauernder Wellenformen künstlich auf die Membran übertragen. Eine Beeinträchtigung der Verständlichkeit von Worten in entsprechender Stärke fand trotz der erheblichen Membranausbiegungen nicht statt.

Ungeachtet der häufigen Spitzen in den Curven, welche auf einen jähen Wechsel der Bewegungsrichtung deuten, treten

doch hier niemals die hohen Eigenschwingungen auf, wie wir sie schon oftmals beim Oeffnen und Schliessen des Stromes beobachtet haben. Eine plötzliche Bewegungsänderung kann demnach nicht deren Ursache sein.

Von der vorliegenden Reihe hätte ich gern eine grössere Anzahl Controlaufnahmen hergestellt; infolge Beschädigung des Spiegels, dessen Oberbelag wegen des trüben Wetters nicht umgehend hergestellt werden konnte (vgl. Anhang), war mir dies leider nicht mehr möglich; doch beabsichtige ich, die Untersuchungen über die Frage des An- und Abklingens gelegentlich weiter zu verfolgen.

Die experimentelle Behandlung des Stoffes ist an sich nicht schwierig; wie man sieht, erfordert sie aber sehr präzise Vorrichtungen; primitive Hilfsapparate, wie ich sie leider anfänglich anwandte, führen leicht zu Irrtümern, keinesfalls aber zum Ziel.

II. Abhängigkeit der Curvengestalt der Membranschwingungen von den Verhältnissen im Stromkreis und von der Beschaffenheit der Erregerquelle.

(Hierzu Tafel III.)

Aus den bisherigen Curven ging bereits hervor, dass bei den principiell gleichen Erregungsarten — von Mikrophonströmen ganz abgesehen — mittels Wechselstrom und gar mittels unterbrochenem Gleichstrom recht verschiedenartige Bewegungsformen entstehen können. Es wird selbst nach gründlicher Durchsicht der vorliegenden Abbildungen eine gewagte Sache bleiben, auf Grund ähnlicher Bedingungen (bez. der Erregungsarten und der Widerstandsverhältnisse etc.) das Aussehen der Curven vorauszusagen; immerhin lassen sich für bestimmte Verhältnisse Schwingungsformen der Membran erzielen, die eines gewissen Grundcharakters nicht entbehren; und die ich deshalb in den Abbildungen Taf. III zusammengestellt habe. Sie beziehen sich nur auf unterbrochenen Gleichstrom, der einer Accumulatorenatterie mittels Saitenunterbrechers entnommen wurde. Untersuchungen über die Wirkungen eines Inductoriums, sowie eines elektrolytischen Unterbrechers auf die Membran sind in Aussicht genommen.

Um die Uebersichtlichkeit durch weitläufige Combinationen nicht zu stören, verzichtete ich auf das Variiren der Periodenzahl selbst. Wohl aber unterzog ich zwei verschiedenartige Telephone der vergleichenden Behandlung; 1. das Telephon von Siemens & Halske neuerer Art, mit vielen Windungen und hohem Selbstpotential und starker Dämpfung, 2. das Dosentelephon von Hartmann & Braun mit wenig Windungen und geringerer Dämpfung.

Die zu dem Telephon Siemens & Halske gehörige Serie zerfällt in drei Abteilungen zu je drei Gruppen. Die Gruppen unterscheiden sich untereinander durch die Zeitverhältnisse betreffs der Andauer des Stromschlusses innerhalb einer Periode.

Jede Gruppe enthält zwei unterschiedliche Fälle in Bezug auf die Einflüsse des Widerstandes bez. der Dämpfung; von unten nach oben teilen sie sich folgendermaassen ein:

1. Kein Nebenschluss an der Oeffnungsstelle.
2. Wirkung der Dämpfung durch Aufdrücken des Fingers auf die Membranmitte.
3. Wirkung des Nebenschlusses an der Oeffnungsstelle des Unterbrechers.

Für die zweite Abteilung kommt als einzige Aenderung in Betracht, dass die Membran aus ihrer Normalstellung um einen Gewindegang herumgedreht wurde, wodurch sich der Abstand von den Polschuhen um einen etwas stärkeren Betrag vergrößert, etwa um 1 mm.

Abteilung III zeigt die dämpfende Wirkung starker Inductions widerstände (normale Membranstellung).

Folgende tabellarische Zusammenstellung mag die Uebersicht erleichtern.¹⁾

1) In der Gruppe III, Taf. III gelang es mir leider nicht, die systematische Zusammenstellung einzuhalten, und zwar wegen praktischer Schwierigkeiten bei der Herstellung der Lichtdrucktafeln; ich konnte deshalb die sinngemässe Nummernfolge in Taf. III, Gruppe III nicht einhalten.

Ferner ist zu dieser Taf. II zu bemerken, dass ich in einigen Curven die „Mittellinien“ am Originalnegativ mit Tusche nachziehen musste, weil es in Anbetracht ihrer geringen Schwärzung fraglich schien, ob sie sich in der Reproduction deutlich genug abheben möchten.

Die Nummernbezeichnung steht immer an der unterhalb der Curve befindlichen zu der Aufnahme gehörenden Mittellinie.

		Abteilung				
		I	II	III		
		Membranstellung				
		normal	weit	normal		
Quecksilberstand im Unterbrecher	hoch	1	10	19	Durch Nebenschluss mechanisch	Dämpfung
		2	11	20	—	
		3	12	21	—	
	tief	4	13	22	Durch Nebenschluss mechanisch	
		5	14	23	—	
		6	15	24	—	
	normal	7	16	25	Durch Nebenschluss mechanisch	
		8	17	26	—	
		9	18	27	—	
		bifilar		hohe Induction		
		Vorschaltewiderstände				

Telephon Siemens & Halske.

		IV	Abteilung V	VI			
Vorschaltewiderstand	hohe Induction	28	32	36	Nebenschluss	Dämpfung	
		29	33	37	—		
	bifilar	30	34	38	Nebenschluss		
		31	35	39	—		
		normal	tief	hoch			
	Quecksilberstand						

Telephon Hartmann & Braun.

Der Quecksilberstand des Unterbrechers wurde durch Drehen der Stellschraube in Fig. 3, p. 494 verändert. Die Curven lassen selbst am besten erkennen, wie sich dadurch die Ausdauer des Stromschlusses verlängert und verkürzt hat.

Ein bestimmtes Maass lag nicht zu Grunde. Die Durchbiegung bei normalem Quecksilberstand — und ohne Nebenschluss oder Dämpfung — betrug etwa 0,1 mm, bei dem Telephon Hartmann & Braun sind sie in Anbetracht der kleinen Membran relativ stärker.

Die bifilaren Vorschaltwiderstände waren so gross, dass der Inductions-widerstand der Telephonspulen fast vernachlässigt werden dürfte, speciell bei dem Telephon Hartmann & Braun, wo er 2000 Ω betrug, also wenn man dem Widerstand des Telephons in Ω einen zehnfachen Inductions-widerstand schätzungsweise beimisst, immer noch ca. 60 mal so gross.

Zu Inductions-widerständen für das Telephon von Siemens & Halske wurden sehr fein lamellirte Weicheisen-magnete in geschlossener Form benützt (Blechstärke 0,18 mm), deren Bewicklung fast überlastet war, sodass mit einer hohen Sättigung (und daher sehr hohen Induction) gerechnet werden dürfte. Die starke Verzögerung des Stromes drückt sich deutlich in den Curven aus. Namentlich bei dem Telephon Hartmann & Braun, dessen vorgeschaltete Inductions-widerstände aus gewöhnlichen, geschlossenen Drosselspulen mit Drahtbündeln als Eisenkern, sind die Unterschiede für beide Widerstandsarten sehr drastisch. Man vergleiche z. B. Curve 31 mit 29. Die akustische Wirkung änderte sich natürlich ebenso auffallend, der Ton war analog der Curve 31 sehr reich an Obertönen, scharf und blechern, während er im andern Fall (Curve 29 und ähnliche) schwach und farblos wurde, in Nr. 28 noch weicher als die mit der Wechselstrom-maschine hergestellten Töne.

Beachtenswert ist es, dass beim Oeffnen des mit hoher Induction behafteten Kreises, das mit starkem Funken der Quecksilberunterbrechungsstelle vor sich ging, die Membran zwar oft sehr steil zurückfiel, aber niemals kleine Schwingungen ausführte, wie man es in den übrigen Fällen sieht, wo die Induction möglichst gering ist, der Stromabfall daher sehr schnell von statten geht.

Die Abbildungen in Fig. 8, geben einen Teil ähnlicher Versuche wieder, wobei etwa doppelt so grosse Durchbiegungen erzielt wurden. Es wurde auf die zweifache Reflexion am

Hohlspiegel verzichtet, die Brennweite betrug 75 cm. Die Wasserspülung der Oeffnungsstelle wurde beibehalten.

Man beachte die bereits früher erwähnte Wirkung der mechanischen Dämpfung, wobei die hohen Partialschwingungen nicht erdrückt werden können. Dem allgemeinen Eindruck nach ähneln diese Curven den am Anfang der Abhandlung abgebildeten (vgl. (p. 489 u. 490).

Im Anschluss hieran soll auf die Curven hingewiesen werden, welche durch Erregung mittels der andauernden oscillatorischen Stromschwankungen im Simon-Dudell'schen Flammenbogen erzeugt wurden. (Taf. II, Curven 25 u. 26.)

Das parallel zu den Kohleenden angelegte Telephon giebt ja nach der angewendeten Stromstärke einen lauten Ton, der bis zum Schrillen einer Dampfpeife gesteigert werden kann. In Anbetracht der ungeheuren Lautwirkung benutzte ich eine geringe Vergrößerung durch einen Hohlspiegel von 30 cm foc., eine stärkere wäre indessen vorzuziehen gewesen; wegen der Dringlichkeit der Versuche konnte ich diese Aenderung nicht mehr vornehmen. Die Originalapparate stellte das

Fig. 8.

Unterbrochener Gleichstrom
von 100 Perioden.

(Verlauf in der Abbildung
von rechts nach links.)

Curven 1 u. 4 ohne Nebenschluss,
Curven 2 u. 5 mit Nebenschluss,
Curven 3 u. 6 mit Nebenschluss und
mechanisch gedämpft.

physikalische Institut in Frankfurt zur Verfügung. Hr. Prof. Dèscoudres hatte die Freundlichkeit, die Aenderungen für die Schaltung etc. zu treffen und den im Nebenzimmer aufgestellten Apparat zu bedienen. Die Lampe functionirte nicht immer gut, es war mehr eine Glückssache, den Augenblick auf der photographischen Platte festzuhalten, wo der Ton rein klang. Die Tonhöhe ergibt sich aus der Umlaufgeschwindigkeit der Trommel, welche sich auf 2 m belief.¹⁾

Wir haben es also mit Tonlagen von 1100 — 2500 Schwingungen zu thun. Viele davon sind recht schön sinusförmig, soweit man dies in einem Stromkreis mit Eisen etc. erwarten durfte. Die grösseren Curven weichen am stärksten von dieser einfachen Schwingungsform ab, es kommt zur Bildung hoher Obertöne. Den Ursachen kann ich nicht nachgehen, es liegen zu viele Möglichkeiten vor, auch soll die telephonisch gewonnene Curvenform weder für noch gegen die Annahme sprechen, dass die Form sinusartig sei. Wohl aber lässt sich die Homogenität des andauernden Singens controliren; bei den vorliegenden Versuchen war sie nur selten vorhanden, das eigentümliche „Maunzen“ der Lampe lässt sich in den Aufnahmen sehr schön verfolgen; leider kann ich nur kurze Stücke dieser Stellen reproduciren (Figg. 25 u. 26, Taf. II).

Soll das Verfahren mit einiger Sicherheit Aufschluss geben, ob keine Partialschwingungen der Stromcurve vorliegen, so muss man eine Tonlage heraussuchen, bei welcher keine der Obertöne des Telephons ansprechen. Von dem Telephon

1) Diese Geschwindigkeit wurde mit Hülfe der Secunden-Springuhr bestimmt, im allgemeinen unterlag sie keinen erheblichen Schwankungen, d. h. grösser als 5 Proc.; rasche Geschwindigkeiten, zwischen 1 und 2 m, konnten lange bis auf 1 Proc. genau aufrecht erhalten werden, ich musste aber zu diesem Zweck den antreibenden Motor (ein recht empfehlenswertes Modell, mit Fliehkraftregulator, von Alfred Schöller in Frankfurt a. M.) an eine gesonderte Accumulatoren-batterie legen, weil die Schwankungen der Bogenlampe sich in merklichen Spannungsschwankungen äusserten, welche zu Ungleichmässigkeiten der Tourenzahlen Veranlassung gaben. Genaue Tonhöhen wurden mittels Stimmgabeln festgestellt. Meistens genügte es aber, die Tonlage nur annähernd zu erfahren. Die genaue Bestimmung der Wechselstromfrequenz hätte in Anbetracht der Schwankungen des Erregerstromes zu recht umständlichen Messungen geführt.

Siemens & Halske ältere Art besitze ich keine gesonderte Darstellung der Membrantöne. Ich kann deshalb keinen Aufschluss erteilen über solche Eigentöne, die etwa in den Figg. 25 u. 26 zum Vorschein gekommen sind.

III. Einfluss der Eigentöne.

(Hierzu Tafel V, untere Hälfte.)

Die Frage nach den Eigentönen der Membran ist eine an und für sich sehr interessante; sie gewinnt besondere Bedeutung für die Untersuchung, was bei einem Photogramm lediglich der erzwungenen Schwingung entspricht und welche Abweichung hiervon zum Teile oder ganz ausschliesslich auf Kosten der Eigenschwingung gesetzt werden darf. Zur Beantwortung dieser Frage bieten meine flüchtigen Untersuchungen kein ausreichendes Beweismaterial; aber aus den Abbildungen erkennt man immerhin den störenden Einfluss dieser Obertöne auf die Curvenform, mithin auf den Klang an und für sich. Die kurz vor Beginn der Versuche erschienene Abhandlung von Max Wien über: „Die akustischen und elektrischen Constanten des Telephons“ kam mir erst nachträglich zur Kenntnis, sonst hätte ich wohl auf den Gang seiner Experimente Rücksicht genommen und das photographische Analogon herzustellen versucht. Uebrigens hatte ich bereits einen ähnlichen Weg eingeschlagen. An Stelle der jedenfalls viel geeigneteren Wechselstromsirene verwendete ich einen rotierenden Gleichstromunterbrecher, den ich zufällig im Laboratorium der Firma Hartmann & Brann vorfand. Er hat das Aussehen eines Collectors, enthält 48 Segmente, deren leitende Oberfläche etwa doppelt so breit ist, als der isolirende Zwischenraum. Der Strom von 70 Volt wurde mittels gewöhnlicher Schleiffeder aus Bronzeband zugeführt. Den Antrieb besorgte der Elektromotor meiner Dynamomaschine. Ein genaues Einstellen auf eine bestimmte Tourenzahl gelang mir schwer wegen der Schwankungen des Motors. Von meinem Platz aus konnte ich durch Reguliren des Nebenschlusses des Motors eine Frequenzschwankung von etwa 10 Proc. auf- und abwärts herbeiführen. Ich beobachtete deshalb beim Anlaufenlassen und Steigern der Tourenzahl den Eintritt eines lauten Pfeifens im Telephon. Daraufhin wurde die herrschende

Frequenz zu erhalten gesucht. Wenn alles zur Aufnahme bereit stand, stellte ich eine möglichst genaue Resonanz her und nahm die Belichtung etc. vor. Die Frequenz ergibt sich genügend genau aus der Trommelgeschwindigkeit, die 1 und 2 m pro Secunde betrug. Das Resonanzbereich ist nicht scharf abgegrenzt, entsprechend der starken magnetischen Dämpfung. Dass für höhere Partialtöne mehrere dicht nebeneinanderliegende Resonanzmaxima vorhanden seien, ist mir nicht aufgefallen; ich führte diesen Umstand jedenfalls auf die verhältnismässig weite Ausdehnbarkeit des Resonanzbereiches zurück, worauf ja auch Hr. Max Wien hinweist; doch werde ich künftighin auf diesen Punkt besonders achten. Die Figg. 14, 3 u. 4 in Taf. V beziehen sich auf die Grundschiwingung der Membranen der Telephone von Hartmann & Braun und von Siemens & Halske neuerer Art. Sie liegt ungefähr bei es'' (610) bez. f'' (710). Letztere Zahl deckt sich ziemlich mit der von Hrn. Max Wien gefundenen. Höhere Obertöne zeigten sich bei ca. 2200 und 3800 Schwingungen (Figg. 20 u. 19). Zur Gewinnung dieser Unterbrechungszahl musste der Collector bereits 80 Touren pro Secunde machen; dabei fingen die Segmente an sich zu verbiegen; aus diesem Grunde musste ich von der Steigerung der Frequenz absehen. Ohne Zweifel hätte ich sonst den höheren Eigenton gefunden, den Wien auf über 5000 angiebt.

Ueber die räumliche Beschaffenheit der Obertöne — etwa ihre Knotenlinien — giebt die genannte Arbeit keinen Aufschluss. Aus den Aufnahmen 9, 11, 14, 19 u. 20 entnehmen wir, dass die Partialtöne des Dosentelephons von Hartmann & Braun nicht wesentlich von der Ebene der erzwungenen Grundschiwingung abweichen, solange sie im Resonanzbereich mit der erzwingenden Kraft liegen. Anders gestaltet sich ihr Verlauf, wenn dieses Bereich nach oben oder unten überschritten wird. Curve 13 (mit ca. 690 Schwingungen) und Curve 12 (mit ca. 580 Schwingungen) stellen diese Fälle dar. Es entstehen Schnörkellinien; die Membran fängt zu schlottern an (um den treffenden Ausdruck L. Hermann's zu gebrauchen).¹⁾

1) Dieses Schlottern vollzieht sich aber keineswegs symmetrisch zum Mittelpunkt, wie ich schon anfänglich erwähnte. Ein dort aufgesetzter Spiegel zieht höchst verworrene Linien nach allen möglichen Richtungen.

Viel schlimmer wird diese Erscheinung bei dem Telephon von Siemens & Halske. Die analogen Figuren sind Nr. 4, 2 u. 1 dargestellt. Curve 4 unterscheidet sich von Curve 3 dadurch, dass die Membran um einen Gewindegang, ca. 1 mm, von den Polschuhen entfernt wurde.

Inwieweit sich der Grundton der Membran als harmonischer Partialton bemerkbar macht, mögen die Curven 9—11 bez. 5—8 illustriren. Ferner lässt sich sein Einfluss auf Tonhöhen von etwas niedriger oder höherer Lage als der genauen tieferen Octave entspricht, noch recht gut verfolgen in Nr. 8 und 9. Dagegen verlieren die grotesken Formen der analogen Figg. 7 und 6 an Uebersichtlichkeit. Hier wäre aber die Erregung durch Wechselstrom entschieden notwendig gewesen, weil man gar nicht weiss, welche Einzelheiten in der Periode der erzwingenden Kraft enthalten waren. Dass nämlich zur Erregung der reinen Eigenschwingung eine beliebig gestaltete periodische Kraft verwendet werden kann, das geht aus Curve e'' der Gruppe $a' - a''$ in Taf. V hervor, wo es sich darum handelt, den Einfluss des Eigentones auf die Curvengestalt von Vocalen zu untersuchen. Der ins Mikrophon schrill angesungene Vocal A auf e' hatte gewiss eine complicirte Stromperiode zur Folge. Der Effect auf die Membran ist aber ganz einfacher Art. Einen strengen Beweis enthält das Gesagte nicht, aber es hat die Wahrscheinlichkeit für sich. Die höheren Eigentöne des Telephons Siemens & Halske (älterer Art) habe ich durch Singen und Pfeifen in das Mikrophon herauszufinden versucht. Die Mikrophonmembran wurde mit einem Wattebausch besonders gedämpft, denn deren Eigenschwingungen spielen ebenfalls eine selbständige Rolle. Der Grundton liegt wiederum bei 730 (Fig. 18). Ferner sprach ein gepfiffener Ton von 1100 Schwingungen sehr laut an (Fig. 17); verhältnissmässig stärker aber die Octave dieses Tones von 2200 Schwingungen, der als eigentlicher Partialton aufzufassen ist, und welcher seine Schwingungen in völlig abweichender Richtung ausführte, sodass das Photogramm ein verschwommenes Bild darstellt (Fig. 15).

Die Klangfarbe der hohen Obertöne, worunter sich jedenfalls noch die von M. Wien genannten viel höheren, nämlich ca. 5000 und nochmals höhere, einmischen, ist metallisch,

blechern; durch ihre Existenz wird wahrscheinlich das Klirren und Rasseln hervorgerufen, das wir leider so oft bemerken; beim Phonographen, namentlich bei den lautsprechenden Apparaten muss fast stets ein derartiges Rasseln mit in Kauf genommen werden. Ich beobachtete häufig die Wiederkehr des blechernen Vibrirens bei gleicher Tonhöhe und überzeugte mich, dass es nicht etwa den Teilen des reproducirenden Apparates (Schalltrumpete etc.) zuzuschreiben ist. Vielmehr mögen die Eigentöne der Aufnahmemembranen die Schuld tragen. Der Umstand, dass das schreibende Hohlmesser des Phonographen (oder dessen Ersatzstück bei anderen Constructionen) durch die Arbeit des Einschneidens in das Wachs eine fortwährende Dämpfung erleidet, kann nicht als absoluter Hinderungsgrund für die Aufnahme der Eigenschwingungen angesehen werden, namentlich bei hohen Schwingungen, deren Amplitude an und für sich gering ist.¹⁾

Wie vorhin erwähnt, neigt auch die Mikrophonmembran dazu, Schwingungen, die ihren Eigentönen entsprechen, verstärkt wiederzugeben. Man braucht nur chromatisch in das Mundstück hineinzusingen und zu pfeifen, um an den deutlichen Mitschwingungen solche Resonanzstellen zu ermitteln. In hohem Grade machen sie sich bemerklich bei dem Mikrophonmodell der Telephonstationen der Reichspost, die leider noch zum grossen Teil in Betrieb sind, allwo ein System von ineinander gelagerten Kohlewalzen mit der Holzmembran starr verbunden ist. Die Filz- oder Federdämpfung beugt wohl weiteren Eigenwilligkeiten vor; allein die Stärke der Resonanz bei der Membran herrscht gleichwohl an. Sehr viel mehr in dieser Quelle, als in den Eigenschwingungen der Hörermembran muss der Uebelstand der gestörten Deutlichkeit gesucht werden; es ist bei neueren Constructionen auch gelungen,

1) In der genannten Arbeit von M. Wien findet sich p. 455 Anmerkung 2 ein Hinweis auf das charakteristische „Telephongeräusch“, welches durch sehr hohe Schwingungen hervorgebracht wird. Anscheinend sind hier die sehr hohen Formanten der Consonanten (Zischlaute) gemeint. Dann darf wohl auch das permanente Geräusch auf solche hohe Frequenzen zurückgeführt werden, welches man bereits vernimmt, wenn nur der Hörer mit dem Mikrophon in Verbindung steht, ohne das äussere Erschütterungen auf dieses wirken.

die Eigenschwingungen wesentlich abzuschwächen, so z. B. in allen Kohlepulvermikrophonen (Berliner's Universal-Transmitter, Mix & Genest etc.).

Meiner experimentellen Beobachtung nach werden die hohen Eigentöne, welche das Rasseln bedingen, in verhältnismässig stärkerem Maasse hervorgerufen, wenn die Amplitude der Membrandurchbiegung vergrößert wird, und zwar über die Grenze hinaus, welche man für Reproduction der Sprachlaute einhalten muss. Der Grund ist nicht ohne weiteres klar. Bei Stimmgabeln, (Zungen, Saiten und dergleichen,) welche als homogene Gebilde betrachtet werden müssen, und deren Teile einer gleichartigen Spannung etc. unterliegen, beobachtet man eher das Schwächerwerden der Partialtöne bei wachsender Amplitude des Grundtones. Hohe Obertöne, der 18^{te} oder 54^{te}, erscheinen nur bei hartem, kurzem Anschlagen.

Darstellung von Sprechlauten.

(Hierzu Tafel IV u. VI.)

Die bisher eingeschlagene Methode zur Herstellung von Photogrammen kleiner Schwingungen ist wohl die denkbar einfachste. Sie wird auch für denjenigen, der sich nie mit ähnlichen Versuchen beschäftigt hat, gewiss keine Schwierigkeiten bieten. Gerade wegen ihrer Einfachheit empfahl mir Hr. Prof. W. Wien, den Versuch zu machen, mittels dieser Methode die geringen Schwingungen zu photographiren, welche bei der telephonischen Sprachübertragung vorkommen. Die modernen Telephone und Mikrophone leisten gewiss Vortreffliches in der getreuen Wiedergabe der gesprochenen Worte, sodass man an der Charakteristik der Schwingungsform ihrer Membranen keinen Zweifel mehr hegen darf. Wenn also überhaupt in dem Photogramm sprachlicher Vorgänge ein brauchbares Mittel zu deren Studium erblickt werden kann, so wäre es wohl wünschenswert, auf einem solch einfachen Weg zu diesen Aufnahmen zu gelangen.

Von seiten der Physiologen und Sprachforscher wurden deshalb seit langer Zeit Versuche angestellt, die Schwingungen von Membranen aufzuzeichnen. Aber erst die photographische

Methode ermöglichte es 1889 L. Hermann¹⁾, als dem ersten, getreue Abbilder der wirklichen Membranbewegung ohne störende Einflüsse eines willkürlich schwingenden Uebersetzungssystems zu liefern. Seine bis heute fortgesetzten, ungemein präzisen Untersuchungen haben ein immer feineres mechanisches Functioniren seiner Hilfsapparate bedingt. Die Methode ist kurz folgende: Die zu analysirenden Laute werden gegen die Aufnahmemembran eines Phonographen gesprochen bez. gesungen. Darauf wird die reproducirende Membran eingeschaltet, deren Bewegungen von ihrer Mitte aus auf ein Hebelsystem übertragen werden, woran ein Spiegel sitzt. Die Uebersetzungen sind derartig gross, dass bei einer Brennweite von nur 65 cm eine 740 fache Ordinatenvergrösserung erreicht wird, ja bei Anwendung von zweimaliger Hebelübersetzung eine solche von über 4000. Letztere diente hauptsächlich zur Abbildung der Schwingungen von Consonanten. Diese Uebersetzungsverhältnisse sagen mehr denn weitere Ausführlichkeiten, mit welcher enormer Präcision die mechanischen Teile ausgeführt sein müssen. Später hat A. Samojloff²⁾ eine einfache Methode publicirt, bei welcher der umständliche Apparat reducirt wird bis auf eine Membran aus gepresster Korkmasse, gegen welche gesprochen wird und deren Bewegungen von der Mitte aus auf einen Spiegel übertragen werden, der von einer schwachen Feder gegen die Membranmitte angedrückt wird. Diese Methode hat den grossen Vorzug der mechanischen Einfachheit, ferner der Zeitersparnis bei der Aufnahme; denn die Walze des Phonographen muss beim Reproduciren ganz langsam laufen, um jede Eigenschwingung des Hebelsystems möglichst zu vermeiden.

Samojloff's Einrichtung gestattet leider keine directe Controle durch das Gehör. Es steht aber nichts im Wege, die gleiche Vorrichtung am Telephon anzubringen. Ich glaube wohl, dass ich mich zur Nachahmung seiner Methode (bei dieser Combination) entschlossen hätte, wenn mir die ganzen Arbeiten auf besagtem Gebiete bekannt gewesen wären. Ich erfuhr davon erst nach Beendigung meiner Versuche. Dank

1) L. Hermann, l. c.

2) A. Samojloff, l. c.

dieser völligen Unabhängigkeit enthalten die Ergebnisse manche Einzelheiten, die bei den anderen Methoden weniger oder gar nicht zu Tage getreten sind; andererseits gewinnen dadurch thatsächliche Uebereinstimmungen an Wert. Ueber die eigentliche phonetische Bedeutung der Curven Betrachtungen anzustellen, kann nicht mehr meine Aufgabe sein. Ich beschränke mich daher auf eine kurze Erklärung mit besonderer Berücksichtigung der Fehlerquellen.

Ein Sprechtelephon in Dosenform, wie das bisherige von Hartmann & Braun, nur mit wesentlich feinerer Wicklung, stand mir nicht schnell genug zur Verfügung. Ich werde es aber künftighin den übrigen vorziehen, weil die Membranschwingungen nicht so wirre Formen annehmen, wie es bei den Siemens'schen Hörern, namentlich dem neueren der Fall war.

Das bereits erwähnte Mikrophonmodell der Reichspost in Verbindung mit dem Siemenshörer erwies sich gänzlich unbrauchbar. Es musste ein derartig starker Strom verwandt werden, dass sich die Kohlewalzen erwärmten, oder so laut gesprochen werden, dass es zum Abreissen der lockeren Contacte kam.

Dagegen gab das Mikrophon von Berliner (Universal-Transmitter) einen sehr guten Effect. Ich will gleich hier bemerken, dass die Anwendung starker Ströme im Kohlepulvermikrophon kein Nachtheil für die deutliche Lautübertragung sein kann. Nur das „Summen lockerer Contacte“ wird naturgemäss stärker. Ich selbst schloss den Strom von zwei Accumulatorzellen kurz mit dem Mikrophon. Es erwärmte sich nach etwa $\frac{1}{4}$ Stunde merklich. Bei Versuchen, die im Würzburger Institut mit der sprechenden Bogenlampe angestellt wurden, musste die Mikrophonmembran fortwährend gedreht werden, um einem Verbrennen des Kohlepulvers etc. vorzubeugen. Dabei wurde es sehr heiss. Trotzdem vollzog sich die Lautübertragung mit einer vorzüglichen Reinheit, bei starkem Singen oder Sprechen ebensogut wie bei schwächerem.

Die störenden Nebengeräusche entstehen durch zu starkes Schwingen der Mikrophonmembran, hauptsächlich aber durch das Schlottern der Eisenmembran bei zu grossen Excursionen.

Die Deutlichkeit des Telephons litt an und für sich nicht

durch dieses Rasseln. Der Klangeffect war so gross, dass man an allen Stellen des Zimmers, wohin der Hörer zu Controlversuchen gebracht war, die sämtlichen Worte verstand. Diese Stärke liegt ungefähr den Aufnahmen auf Taf. VI zu Grunde, sowie den jeweilig grössten Curven der Taf. IV. Dortselbst sind Gruppen zu je drei Stärkegraden aufgeführt, die mittlere entspricht der von starken Beiklängen fast durchweg freien Membranschwingung; die noch kleinere derjenigen, welche den Klang völlig rein wiedergiebt, ohne jeden näselnden Phonographenton. Diese Stärkeabstufungen gelten natürlich nur annähernd, ebenso wie auch die störenden Erscheinungen von der Art des Vocale, seine Höhe etc. abhängig sind.

Das Vergrösserungsverhältnis berechnet sich auf etwa 80, da die Brennweite des Spiegels 200 cm betrug. Die effective Durchbiegung muss aber immer wieder in Bezug zu dem Radius beurteilt werden; L. Hermann's Phonographenmembran hat 16,5 mm Radius, die des Siemens'schen Hörers 43 mm (ohne Rand). Es ist ferner zu bedenken, dass etwa die 8fache Kraft notwendig ist, um eine Membran von halber Grösse um den gleichen linearen Betrag durchzubiegen.

Mit der Anordnung von Samojloff liesse sich daher leicht die gewünschte Vergrösserung erzielen. Je nach der Belichtungsstärke (cet. par.) fällt die Dicke der Linie aus; sie beträgt bei den Originalaufnahmen zu Taf. IV—VI etwa 0,1 mm. In der Reproduction wird sie leider stark verbreitert und zwar um einen constanten Betrag nach beiden Seiten, sodass die dünnen Curven verhältnismässig mehr an Schärfe einbüssen als die dicken.

Bei schneller Bewegung des Lichtpunktes (reellen Bildes des Diaphragmenpunktes) auf der Filmsschicht entsteht eine feinere Linie, als sie sich nach den optischen Verhältnissen berechnet, bei geringer Bewegung infolge der Dispersion trüber Medien eine wesentlich gröbere. Verfeinernd wirkt auch das Vorhalten einer Gelbscheibe, es schwächt natürlich die Schwärzung. Ich habe mehrfach bei gleicher Vergrösserung Linien von ca. $\frac{1}{20}$ mm Breite erhalten und bin auch gern bereit, Copien solcher Aufnahmen, eventuell kleine Originalfilms zur Ansicht zu versenden.

Bei Anwendung einer Lupe lassen derartig feine Curven von 1 mm Amplitude noch recht viele Einzelheiten erkennen.¹⁾ Alsdann hätten wir es mit Durchbiegungen zu thun, wie sie den Abbildungen von Hermann's Vocalcurven zukommen; mithin konnte auf die Hebelübertragung verzichtet werden und erst wenn zur Ermittlung von Consonanten die Vergrößerung auf diesem primitiven Weg nicht mehr ausreicht, möchte ich die Combination meiner Anordnung mit der von A. Samojloff zur Anwendung gebrachten Uebersetzung empfehlen.

Einfluss der Eigenschwingungen der Membran auf die
Curvenform der Vocale.

Wir haben zu Anfang bereits gesehen, dass selbst bei geringer Tonhöhe die Verschiedenartigkeit im Aussehen der Curven merklich abhängt von der Periodenzahl der erregenden Kraft. Der Einfluss wird sich um so weniger geltend machen — bei sonst gleichbleibenden Verhältnissen — je weiter die erzwungene Periode von der Eigentonhöhe entfernt liegt; ferner, je weniger irgend ein harmonisches Verhältnis zwischen beiden Schwingungszahlen vorliegt. Eine strenge Durchführung dieser Untersuchung müsste mit völlig gleichartigen Erregungsformen — etwa mittels der Wechselstromsirene — vorgenommen werden, bei anhaltend gleicher Stärke. Dies ist hier nun nicht geschehen; als Erregerquelle dienten die Wechselströme des Transformators, in dessen Primärspule das Mikrophon lag. Dieses wiederum wurde durch Ansingende Vocale *A* erregt. Da ich persönlich eine umfangreiche Tenorstimme besitze, so konnte ich mittels Bruststimme und *voix-mixte* die beiden Octaven von *A* bis *a'* ansingen (und zwar in den Tonfolgen der *F*-dur). Die weitere Octave bis *a''* erreichte ich durch Anwendung der Fistelstimme (Falsett). Nun ist es ja bekannt, dass selbst bei „ausregistrierten“ Stimmen sich die Klangfarbe mit der Tonhöhe ändert; namentlich bei höheren Tönen gelingt die Färbung nicht immer nach Wunsch.

1) Auch beim Betrachten der Reproductionen wird eine Lupe manche Einzelheiten aufdecken, wengleich die eigentlichen Feinheiten bei der Reproduction durch Lichtdruck verloren gehen.

Die periodisch erregende Kraft war mithin keineswegs homogen; auch die Tonstärke konnte nur annähernd nach dem subjectiven Eindruck aufrecht erhalten werden. Trotzdem zeigen die 3 Gruppen auf Taf. V recht deutlich, wie sich die Membran des Siemens'schen Hörers den einzelnen Tonhöhen gegenüber verhielt. Von *A* bis *b'* machen die Abbildungen einen recht glaubwürdigen Eindruck, d. h. man vermeint aus ihnen die Charakteristik des Vokales herauslesen zu können, ohne durch eine starke Beimischung von ungewünschten Schwingungen irre geführt zu werden. In dieser Beziehung sind sie sehr ähnlich den auf anderem Wege gewonnenen Vocale-schwingungen (vgl. L. Hermann und A. Samojloff). Darüber hinaus verliert zunächst die charakteristische Färbung des Vokales in der Singstimme, wenngleich ich bemüht war auf Kosten des Timbres bez. der Klangschönheit einen möglichst deutlichen Vocal *A* zu singen. In diesem Umstande darf aber nicht die hauptsächliche Ursache zu der völligen Charakterlosigkeit der höheren Membranschwingungen gesucht werden; vielmehr zeigt sich unverkennbar die Einwirkung der Eigenschwingung auf die Tonlage *e'*, *f''*, woselbst der Eigenton die Rolle des ersten Obertones spielt und gar im Bereich *e'' f'' g''*. (Leider fehlt in Gruppe *a—a'* das *g'*.) Ich weise zurück auf die Abbildungen des Eigentones, der in Nr. 3 und 4 auf gleicher Tafel isolirt dargestellt wurde. Die Erregung blieb damals homogen, wenn auch nicht sinusförmig. Zu dem Grundton der Eigenschwingung gesellt sich nun noch für manche Lagen (z. B. *a' b' e'' a''*) ein höherer Partialton, der sich anscheinend nicht nur einmischt, sondern auch häufig die Amplitude der erzwungenen Schwingung herabzudrücken sucht. Dieses Ereignis tritt im allgemeinen nur bei relativ starker Amplitude der erzwungenen Schwingung auf. Gerade diese Curven darf ich wohl als Illustration zu der Schlussbemerkung der M. Wien'schen Abhandlung (p. 458) anführen. Diese Arbeit macht auch wohl weitere Bemerkungen über den Einfluss der Eigentöne auf die Verständlichkeit gesprochener Worte überflüssig; nur möchte ich noch darauf hinweisen, dass es offenbar in manchen Fällen unangebracht ist, bei mangelnder Deutlichkeit den Fernsprechenden zu ersuchen, lauter zu sprechen; denn dadurch werden ja erst recht die

rasselnden Partialtöne der Telephonplatte überhand nehmen; weit eher lässt sich hoffen, dass durch Verlegen des Sprechtones in ein höheres oder tieferes Bereich die Verständlichkeit gefördert wird.

Ungeachtet der Wahrnehmung, dass der Spiegel ausser seiner Hauptbewegungsrichtung noch kleinere Schwingungen nach der Seite ausführt — eine Erscheinung, deren Beurteilung nützlich sein kann und deren Auftreten bei Anwendung eines Spaltdiaphragmas wohl unerkannt geblieben wäre — ungeachtet dessen behielt ich das punktförmige Diaphragma bei. Zukünftig wird es angebracht sein, beide Diaphragmen gleichzeitig oder abwechselnd zur Anwendung zu bringen, um den Unterschied genau verfolgen zu können.

Es wurden nun sämtliche klingenden Vocale und Consonanten des deutschen Alphabetes aufgenommen, ferner gemischte und nasale Laute. Die Filmsbreite betrug gewöhnlich 10 cm; doch genügt die Breite von 3 cm vollauf, um die Regelmässigkeit der periodischen Wiederkehr beobachten zu können. Jeder Vocal etc. wurde auf vier Tonhöhen gesungen, nämlich auf *c*, *e*, *g*, *c'*. Von der grossen Anzahl will ich nur einen Teil veröffentlichen, der zur Genüge erkennen lässt, welche Mannigfaltigkeit und Regelmässigkeit auch bei Anwendung dieser einfachen Uebertragungsart zum Vorschein kommt. Bei der Auswahl wurde darauf Rücksicht genommen, dass verwandte und ähnliche Laute zur Ausbildung gelangten. Z. B. „*oe*“ vergleichbar mit *o* und *e*; oder *ae* mit *a* und *e*; ferner *a* mit *oa*, d. h. ein helles *a* mit einem dunklen. Um möglichste Reinheit in der Aussprache dieser Vocale zu erreichen, befolgte ich die Anweisungen, die Karl Hermann¹⁾ in seinem Lehrbuch erteilt, und die ich auch dank des persönlichen längeren Sprachunterrichtes durch den Verfasser selbst wohl richtig anwenden lernte. Dem Consonanten *r* habe ich eine bevorzugte Stellung eingeräumt (Taf. IV, untere Hälfte), weil er ja durch seine „Schnurrperiodik“ ein besonderes Interesse gewinnt. An Regelmässigkeit in der Wiederkehr dieser Periodik lässt die Wiedergabe wohl nichts zu wünschen

1) Die Technik des Sprechens von Prof. Karl Hermann, Frankfurt, Verlag von E. v. Mayer (Neumann'sche Buchhandlung).

übrig und begründet auch bis zu einem gewissen Grade die Verwendbarkeit des angewandten Darstellungsverfahrens zur Untersuchung ähnlicher Vorgänge.

Fig. 9 zeigt, was unter Schnurrperiodik verstanden werden soll; ausserdem bietet sie einen Vergleich des Reproductionsverfahrens mittels Holzschnittes gegenüber demjenigen mittels Zink- oder Lichtdruckes.

Mit dem Hörer von Siemens & Halske älterer Construction, der weniger zur Bildung störender Partialtöne neigte, gewann ich noch eine Reihe von Lauten, die etwas übersichtlicher geordnet sind (Taf. IV, obere Hälfte). Sie entsprachen alle der gleichen Tonhöhe d' , bei welcher die Wieder-

Fig. 9.

gabe verhältnismässig sehr rein geschah, und welche Stimmlage mir persönlich sehr günstig erschien, um alle Schattirungen in der Aussprache und Stärke der Laute zu beachten.

Ausser diesen einfachen Lauten suchte ich noch die Photogramme von zusammengesetzten Lauten zu gewinnen, oder von periodisch wiederkehrenden Gefügen, wie z. B. *ra—ra—ra* oder *esch—esch—esch* und dergleichen. Diese an und für sich hübsch gelungenen Experimente will ich jedoch wegen ihres ausschliesslichen Interesses für den Phonetiker nicht weiter besprechen. Abzüge stehen jederzeit zur Verfügung.

Selbstverständlich versuchte ich auch ganze Worte, einfache und complicirte zu photographiren. Der Anblick selbst ganz kurzer Wortgebilde ist schon überraschend wegen der vielen Nüancen, welche dem Ohr bez. der Auffassung entgehen; aber es liegt hierin auch die Schwierigkeit des kritischen Ueberblickes. So effectvoll vielleicht die Abbildung derartiger Aufnahmen ausfallen möchte, so muss ich doch einstweilen auf deren Wiedergabe verzichten, bis es mir gelungen ist, über-

sichtliche Fälle zu vermitteln, deren Analyse auch mit Sicherheit und methodisch durchgeführt werden kann.

Schliesslich will ich noch dankbar der freundlichen Bereitwilligkeit gedenken, mit welcher mich die Firma Hartmann & Braun, sowie Hr. Peter Schüll bei der Herstellung der Hilfsinstrumente unterstützt hat. Ganz besonders aber gilt mein Dank Hrn. Professor W. Wien für die allzeitige lebenswürdige Anteilnahme an meinen Untersuchungen.

Anhang.

Ueber die Befestigung der Präcisionshohlspiegel und über deren Oberflächenversilberung (Fig. 10).

Ueber dies schwierige und allgemein wenig bekannte Verfahren zur Herstellung dünner Plan- und Hohlspiegel soll eine gesonderte Beschreibung in der Physikalischen Zeitschrift erscheinen. Hier will ich nur erwähnen, dass ein einzelnes Spiegelchen nicht etwa aus einem kleinen Stückchen Glas herausgeschliffen werden kann, sondern dass immer eine grössere Fläche, woraus mehrere Spiegelchen herausgebohrt werden, her-

Fig. 10.

gestellt wird, und zwar aus derartig dicken Glasscheiben (ca. 10 mm), dass ein Verziehen während der Bearbeitung ausgeschlossen ist. Die optische Herstellung fällt meist so genau aus, dass es Schwierigkeiten macht, die Befestigung des Spiegels entsprechend präcis vorzunehmen, d. h. so zwanglos, dass keine messbare Verbiegung eintritt. Bei Galvanometern vermeidet man gewöhnlich eine starre Befestigung und stellt das Spiegelchen frei in einen Halter, der nur das Herausfallen verhindert.

Kann man aber ein starres Aufkitten nicht vermeiden, wie in den vorliegenden Versuchen (oder z. B. bei Stimmgabeln), so sind Hohlspiegel den Planspiegeln vorzuziehen wegen des Vorteils ihrer natürlichen Versteifung, welche dem Verziehen wesentlich entgegenwirkt. Ferner wähle man die grösste zulässige Dicke; man gehe nicht unter 0,3 mm. Die von mir benutzten Spiegel waren andererseits nicht stärker als 0,4 mm. Bei einer Krümmung von 30 cm (also 15 cm Brennweite) ergaben zwar auch dünnere Spiegel (bis zu 0,2 mm) sehr scharfe Linien. Die Durchmesser beliefen sich auf 6—20 mm. Kleinere Spiegel verlieren ihre Schärfe durch das Aufkitten viel eher, als solche von grösserem Durchmesser; denn es kommt auch vor, dass bei letzteren die Gesamtfläche der Verzerrung genügend Widerstand entgegengesetzt, und dass nur das kleine Stückchen, woran die Kittmasse sitzt, verzogen ist. Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man paralleles Licht auf den zu prüfenden Spiegel fallen lässt, und dessen Bild in der Entfernung von 2—3 Brennweiten auffängt. Ist der Spiegel durchaus verzogen, so fehlt der Fläche die gleichmässige Helligkeit, auch werden die Ränder unscharf; dagegen hebt sich bei alleiniger Verzerrung der Mitte daselbst nur ein dunkler Fleck heraus, ähnlich wie bei den als Spielzeug bekannten chinesischen Zauberspiegeln. Im Brennpunkt selbst verschwindet die Wirkung dieses Fleckens. Die Schärfe des Brennpunktes lässt sich durch directes Beobachten schwer beurteilen, einmal weil es sehr schwierig ist, genau den Brennpunkt einzustellen und weil ferner das concentrirte Lichtbild viel breiter aussieht, als es wirklich ist. Es genügt für die vorliegenden Aufnahmen, wenn das Bild auf doppelte Brennweite, wobei es der natürlichen Spiegelgrösse entspricht, keine wesentliche Entstellung zeigt.

Zum Aufkitten benutzte ich Siegellack von sehr feiner Beschaffenheit. Er hatte den Vorteil, schon bei 60° zu schmelzen, und langsam zu erstarren. Bei gewöhnlicher Temperatur wurde er ziemlich hart, bei ca. 40° völlig biegsam; bei noch höherer Temperatur konnte er zu Fäden ausgezogen werden. Leider ist das Material im Handel nicht käuflich. Der gewöhnliche Siegellack ist gänzlich unbrauchbar wegen seines schnellen Erstarrens und seines hohen Schmelzpunktes, bei welchem der Silberbelag des Spiegels zerstört wird. Als Ersatz empfehle ich das sogenannte Optikerpech, flüssig bei ca. 40°, oder ein Gemisch von diesem mit gewöhnlichem Siegellack.

Das Aufkitten macht anfänglich Schwierigkeiten; es sei daher auf einzelne Vorteile hingewiesen.

Man fasse den Spiegel am Rande mit drei Fingern der linken Hand, convexe Spiegelrückseite nach aussen, und halte ihn so lange in einem Abstand von ca. 10 cm vor eine schwache Bunsenflamme (russfrei!) als es die Hand bequem verträgt. (Nicht über 40°, sonst wird der Belag gelb!) Mit der rechten Hand erwärme man ein in ein kleines Kügelchen von 2—3 mm Durchmesser auslaufendes Stück Siegellack, bis es zähflüssig wird. Alsdann drücke man es schnell auf die Mitte des Spiegelchens und ziehe das dünne Stück zu einem spitzen Ende aus, das mit der Scheere abgeschnitten wird (vgl. Fig. 10).

Nun ist es gut, den angesetzten Siegellackkegel nochmals der Flamme so nahe zu bringen, bis er beginnt, sich zusammenzuziehen, alsdann sorgt man für langsames Erkalten; dann ist jede Spannung beseitigt.

Spiegel mit Oberbelag gestatten, den Kegel mit den Fingern zu bearbeiten, sodass er völlig symmetrisch ausfällt, bez. den Versuch beliebig oft zu wiederholen. Der Unterbelag würde hierbei beschädigt.

Die gleichen Maassnahmen sind beim Aufsetzen eines entsprechenden Siegellackstumpfes auf den schwingenden Körper (Membran, Stimmgabel etc.), wenn auch weniger ängstlich, vorzunehmen. Darauf werden beide zusammen zu kittende Teile langsam über der Flamme erwärmt und aufeinander gesetzt und nach dem Augenmaass ausgerichtet. Die genauere Stellung lässt sich noch erzielen, wenn der Schwingungskörper schnell in seine dauernde Lage gebracht, und nun der Spiegel so lange gedreht wird, bis der Lichtstrahl den richtigen Weg nimmt. Nötigenfalls hält man die erforderliche Biegsamkeit des Siegellacks durch Annäherung eines heissen Metallklotzes (Lötkolben) aufrecht. Auch ist es ratsam, den Körper ins Schwingen zu versetzen, noch bevor der Siegellack erkaltet ist.

Die Verwendung von Wachs zum Aufkleben des Spiegels ist bei den vorliegenden Versuchen (noch mehr bei Stimmgabelschwingungen) unmöglich.

Spiegel mit Oberbelag¹⁾

sind fast in allen Fällen den gewöhnlichen Unterbelagspiegeln vorzuziehen. Der einzige Nachteil besteht darin, dass die Silberschicht in Räumen, die merklich mit Säuredämpfen erfüllt sind, zerstört wird. Es kommt aber sehr darauf an, wie dicht der Belag ursprünglich aufgetragen worden ist. Ich habe das Verfahren niemals persönlich versucht, weil es anscheinend, um gute Resultate zu erzielen, viel Erfahrung voraussetzt. Hr. Peter Schüll in Bockenheim-Frankfurt ist es nach längeren Versuchen gelungen, selbst die dünnen Hohlspiegel, ungeachtet ihrer Zerbrechlichkeit beim Polieren der Silberschicht, mit einem völlig gleichmässigen und erstaunlich hellen Oberbelag zu versehen. Für seine vielen Bemühungen sei ihm an dieser Stelle mein bester Dank ausgesprochen.

Das Verfahren selbst darf ich hier nicht veröffentlichen; es geschieht auf nassem Wege und ist in hohem Grade abhängig von den Wetterverhältnissen. Es erfordert völlig klare, sonnige Tage; bei wechselnder Beleuchtung entstehen Trübungen im Belag. Dieses Erfordernis darf, wegen des unter Umständen lästigen Aufschubes in der Herstellung, als einziger Nachteil angesehen werden. Die Haltbarkeit wächst mit der Dicke und der Gleichmässigkeit des Belages, von dessen Beschaffenheit man

1) Sämtliche Spiegel bezog ich von Hartmann & Braun, Frankfurt a/M. Dieselben sind in nachfolgenden Brennweiten vorrätig bez. schnell herzustellen:

13,5, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400 cm.

Die Oberflächenversilberung wird ebenfalls von Hartmann & Braun übernommen.

sich leicht überzeugen kann, wenn man den Spiegel vor das Auge hält und gegen die Sonne schaut. Alsdann darf die Schicht eben noch violett durchscheinend aussehen. Solche Spiegel habe ich offen ein halbes Jahr aufbewahrt, ohne eine störende Trübung wahrzunehmen; in geschützten Räumen, z. B. in einer Galvanometerglocke, müssen sie mindestens ein Jahr aushalten. Gerade zu Ablesezwecken dürfte der Vorteil, dass die Doppelbilder verschwinden, ferner, dass bei genauen Messungen auf Correctionsglieder wegen Spiegeldicke und dergl. verzichtet werden kann, sehr erwünscht sein.

Die Linien der photographischen Curven fallen bei der Verwendung von Oberbelagspiegeln mit Brennweiten über 30 cm viel schärfer aus. Es rührt dies davon her, dass man beim Schleifen der beiden Flächen von Hohlspiegeln für rückwärtigen Belag den gleichen Radius einhalten muss, und dass es ausserdem nur annähernd gelingt, vollständige Parallelität zwischen vorderer und hinterer Fläche herzustellen. Die störenden Nebenbilder — manchmal 2 bis 3 — verschwinden auf der photographischen Platte bei schneller Spiegelbewegung; trotzdem erfährt die Filmschicht eine gewisse Trübung zu Ungunsten der Contrastwirkung.

Ein Berühren des Oberflächenbelages ist peinlichst zu vermeiden, notwendiges Abstauben mittels feinen Kameelhaarpinsels vorzunehmen. Verderblich ist mit Quecksilber untermischter Staub, in welchen der Spiegel z. B. beim Herunterfallen geraten kann. In solchen Fällen unterlasse man Säuberungsversuche durch Abwischen etc., sondern halte den Spiegel kurze Zeit in den Strahl einer Wasserleitung, worauf das Trocknen durch lebhaftes Herumschwenken des Spiegels in der Luft sogleich vorgenommen werden muss.

Ratsam ist es, bei dringenden Versuchen stets einen Reservespiegel vorrätig zu halten mit Rücksicht darauf, dass die Neuversilberung oft wochenlang nicht vorgenommen werden kann.

Würzburg, Physikalisches Institut der Universität.

(Eingegangen 3. März 1902.)

An- und Abklingen periodisch erregter Telefonmembranen (Curven 2—5 und 12—21).

2

1

9

6

11

8

7

10

12

13

14

15

16

Nr. 12—16: Periodisch unterbrochener Gleichstrom.

Nr. 17—21: Zwei periodische Schwingungsformen in abwechselnder Aufeinanderfolge.

21

19

17

20

18

3

4

5

22

24

23

25

26

Der Zeitpunkt einer willkürlich herbeigeführten Aenderung eines stationären Schwingungszustandes ist durch Linienverdoppelung der Curve markirt.
Verlauf sämtlicher derartigen Aufnahmen von rechts nach links.

R. Kempf-Hartmann.

Einfluss der Schliessungsdauer und des Inductionswiderstandes, sowie der Dämpfung auf die Schwingungsform der Membran.

Telephon Siemens & Halske.

Telephon Hartmann & Braun.

Tabellarische Uebersicht auf Seite 519.

R. Kempf-Hartmann.

Vocale und Consonanten in drei Tonstärken.

Telephon Siemens & Halske älterer Art.

Darstellung des Zungen- und Gaumen-, „R“ auf 4 Tonhöhen.

R. Kempf-Hartmann.

Einfluss der Eigenschwingungen der Membran auf die Curvengestalt eines Vocales. (Vocal *A*, gesungen auf *A* bis *a''*.)

Telephon
Siemens & Halske.

Telephon
Hartmann & Braun.

Hohe Partialtöne.

15—18
Telephon S. & H.
19—20
Telephon H. & B.

Curve 1—20:

Einfluss der Eigenschwingungen der Telephonmembran auf erzwungene Schwingungen von benachbarter Frequenz.

(Alle Aufnahmen von rechts nach links.)

Vocale und Consonanten auf verschiedener Tonhöhe.

Gruppenweise zu je 4 Aufnahmen; gesungen auf e , e , g , e' .

R. Kempf-Hartmann.