

Wählt man die Verhältnisse so, was auf verschiedene Weise geschehen kann, dass:

$J_0 A Q - W_0 B = 0$ ist, so ist $\delta = 0$ und $C = -J_0 A$.

Durch die electriche Uebertragung tritt also weder eine Aenderung der Phase noch der Klangfarbe ein.

Charlottenburg, im December 1878.

VII. Uebertragung hoher Töne durch das Telephon; von Eduard Hagenbach.

Die Theorie des Bell'schen Telephons ist in den wesentlichen Punkten durch die Untersuchungen der Herren E. Du Bois-Reymond, L. Hermann, H. F. Weber und Helmholtz aufgeklärt worden; dabei wurde stets vorausgesetzt, dass die Ausbiegungen der schwingenden Eisenlamelle einerseits den Amplituden der Luftschwingungen und andererseits den zeitlichen Schwankungen des electromagnetischen Potentials der magnetischen Massen im Telephon proportional seien. Es ist nun aber nicht durchaus selbstverständlich, dass eine steife Eisenplatte, selbst wenn sie dünn ist, den auf sie einwirkenden Kräften mit unbedingtem Gehorsam folge. Bei einer weichelastischen Membran, z. B. einem dünnen Kautschukhäutchen, wo die eigene Elasticität selbst bei merklichen Ausschlägen nur unbedeutend wirkt und somit ausser Betracht fällt, wo auch die zu bewegende Masse und die zu überwindende innere moleculare Reibung verhältnissmässig klein sind, lässt sich ein so vollkommenes Nachgeben leicht begreifen; nicht so bei hartelastischen Körpern mit grossem Elasticitätsmodul. Bei solchen Körpern wird es schon mehr Umstände und mehr Zeit erfordern, um sie in Schwingung zu versetzen; auch wissen wir, dass hartelastische

Platten eine beschränkte Zahl von Eigentönen haben, deren Schwingungszahlen einerseits von den Dimensionen, den Elasticitäts- und den Dichtigkeitsverhältnissen der Platte abhängen, und andererseits von der Art, wie sich die Platte beim Schwingen in einzelne, sich entgegengesetzt bewegende Abtheilungen zerlegt. Die Zahl der Partialtöne kann zwar besonders bei dünnen Platten sehr gross werden, und die Schwingungszahlen können, wenn einmal die Zahl der Abtheilungen bedeutend ist, verhältnissmässig nahe bei einander liegen, doch werden sie nie stetig in einander übergehen. Die hier erwähnten Einflüsse der innern Trägheit und eigenen Elasticität nehmen mit der Grösse des Ausschlags zu und ab und verschwinden für unendlich kleine Ausschläge. Wir können somit sagen, dass die Eigenschaft der dünnen unelastischen Membranen, jeder Einwirkung sogleich und vollkommen zu entsprechen, auch den hartelastischen Körpern zukomme, falls die Ausschläge verschwindend klein sind. Dass nun beim Telephon die Ausschläge klein sind, steht ausser Zweifel¹⁾, im grossen und ganzen schwingt also die Eisenlamelle des Telephons nach Art einer weichen Membran, und darauf beruht die so überraschende Wirkung des Telephons bei der Uebertragung verschiedener Klänge; allein macht sich nicht dennoch der Einfluss der Steifigkeit der Platte bei einigen Nebenumständen und Unvollkommenheiten dieses Apparats geltend? das ist eine Frage, die durch die nachfolgende kleine Untersuchung eine Antwort erhalten soll.

Wenn man verschiedene Bell'sche Telephone zum Uebertragen der Töne vollklingender Stimmgabeln benutzt, so kommt es einem vor, dass für einzelne Stimmgabeln bestimmte Telephone gleichsam eine Art Vorliebe haben und ihre Töne verhältnissmässig besser übertragen; es ist das jedoch ein Experiment, bei dem das subjective Urtheil

1) Darüber zu vergleichen: J. Bosscha. *Archives Néerlandaises*. Tome XIII. p. 247. — H. Dufour. *Bull. de la Soc. Vaud. Sc. Nat.* Vol. XV. No. 79. p. 273.

so viel mitspricht, dass es nicht wohl gestattet ist, daraus bestimmte Folgerungen zu ziehen. Anders gestaltet sich die Sache, wenn man zur Tonerzeugung die bekannten König'schen Klangstäbe anwendet, welche zur Bestimmung der obern Grenze der Hörbarkeit dienen. Man hat dann gewöhnlich nicht nur zwischen besserer und schlechterer Uebertragung, sondern zwischen Hören und Nichthören zu entscheiden.

Die Versuche wurden mit Bell'schen Telephonen angestellt, die ich von Hrn. M. Hipp bezogen hatte, und in welche verschiedene Platten, deren Dicken zwischen 0,12 und 0,18 mm variirten, eingesetzt werden konnten. Die beiden, durch Leitungsdrähte verbundenen Telephonstationen waren so weit von einander, dass ein directes Hören der angeschlagenen Klangstäbe nicht stattfand. Auf der Abgabestation wurde ein Klangstab angeschlagen, und das Telephon so gut wie möglich demselben genähert; auf der Empfangsstation wurde das Telephon an das Ohr gehalten und dann notirt, ob der Ton deutlich, schwach, ganz schwach oder gar nicht gehört wurde. Um die subjective Beurtheilung des Resultats so gut wie möglich zu beseitigen, waren abwechselungsweise ich selbst und Hr. stud. Alb. Riegenbach mit dem Ohr an dem Telephon, jeder schrieb seine Beobachtungen, ohne von denen des andern etwas zu wissen, auf ein Blatt; und nur, wenn die beiderseitigen Resultate stimmten, wurden sie als brauchbare Beobachtungen notirt.

Die zehn Klangstäbe, die ich anwandte, gaben in jeder Octave die Töne des Duraccords und gingen vom fünfgestrichenen bis zum achtgestrichenen *c* nach der Chladni'schen Stimmung, die bekanntlich den König'schen Apparaten zu Grunde gelegt ist. Der längste Klangstab mit dem tiefsten Ton liefert 4096 Schwingungen (8192 vibrations simples), der kürzeste Klangstab mit dem höchsten Ton liefert 32768 Schwingungen (65536 vibrations simples). Ohne Anwendung des Telephons liegt die Grenze der Hörbarkeit zuweilen schon beim siebengestrichenen *c*, häufig

beim siebengestrichenen *e*, bei Kindern und jungen Leuten öfters erst beim siebengestrichenen *g*; für das Hören des achtgestrichenen *c* kenne ich aus meiner Erfahrung nur einen Fall. Wir können also sagen, dass die Grenzen der Hörbarkeit in runder Zahl zwischen 15 000 und 35 000 Schwingungen liegen. Die Tyndall'sche empfindliche Flamme reagirt sehr stark auf alle diese hohen Töne; die Schwingungen finden also statt, die Luft pflanzt sie fort, und nur das Ohr nimmt sie nicht wahr.

Werden nun die scharfen Töne dieser Klangstäbe durch das Telephon befördert, so merkt man gleich, dass die Grenze der Hörbarkeit bedeutend tiefer liegt. Versuche, die mit einer Serie verschiedener Telephone angestellt wurden, haben mich nie einen höhern Ton als das sechsgestrichene *c* wahrnehmen lassen, zuweilen lag die Grenze schon zwischen dem fünfgestrichenen *c* und *e*. Ich bemerke bei dieser Gelegenheit, dass man den dumpfen, stets gleich hohen Ton des Anschlags, der wohl der Eigenton des Hammers ist, unter allen Umständen wahrnimmt, also auch, wenn die Grenze der Hörbarkeit überschritten ist, und zwar gilt dies in ganz gleicher Weise für die directe Wahrnehmung wie für die Uebertragung mit dem Telephon.

Aus den erwähnten Versuchen geht somit hervor, dass die Grenze der Hörbarkeit bei Anwendung des Telephons im allgemeinen etwa zwei Octaven tiefer liegt als bei directer Wahrnehmung.

Dass hier die mangelhafte Uebertragung im objectiven Apparate des Telephons und nicht im subjectiven des Ohrs liegt, ist leicht ersichtlich; zum Ueberfluss habe ich noch mit einer grössern Zahl von Studirenden den Versuch wiederholt und mich dabei überzeugt, dass mit dem Telephon die Grenze für Personen ganz gleich ist, die bei directer Wahrnehmung ganz verschiedene Grenzen zeigen.

Es entsteht nun die Frage: Wer ist schuld an dieser mangelhaften Uebertragung? die Leitung, der Magnet oder die vibrirende Eisenlamelle?

Störungen für die regelmässige Fortpflanzung in der Leitung wären denkbar, wenn bei grossen Schwingungszahlen der zweite entgegengesetzte Strom in die Leitung geschickt wird, bevor der erste die ganze Bahn durchlaufen hat. Dass sich auf diese Weise das Ausbleiben der hohen Töne nicht erklären lässt, geht aus dem Umstande hervor, dass die Einschaltung verschieden grosser Widerstände in die Leitung nur die Stärke der übertragenen Töne abschwächt, an der Grenze der Hörbarkeit aber nichts ändert.

Die zweite Frage, ob die Schuld an der Trägheit der Magnete oder an der der Platte liegt, d. h. daran, dass die Magnete in der Aenderung des Magnetismus, oder die Platten in der Ausführung der Schwingungen nicht nachkommen, wird dadurch zu Gunsten der Plattenschuld entschieden, dass die Auswechselung der Platten und nicht die der Magnete eine Aenderung der Erscheinung nach sich zieht.

Wir können somit die Behauptung aufstellen, dass, wenn die auf die Secunde gehende Zahl der einwirkenden Luftschwingungen oder die die Plattenschwingungen bestimmenden Aenderungen des Magnetismus eine bestimmte Grenze überschreiten, die Platte mit ihren Schwingungen nicht mehr nachkommt. Es lässt sich das leicht begreifen, wenn wir in Betracht ziehen, dass die Eisenplatte nicht sogleich der sie in Bewegung setzenden Kraft folgt, sondern dass innere Spannungen zu erzeugen und moleculare Reibungen zu überwinden sind, bevor sich die Wirkung als Beschleunigung der beweglichen Masse äussert. Tritt diese letztere erst ein, wenn die entgegengesetzt wirkenden Ursachen schon zur Geltung gekommen sind, so werden offenbar die periodisch sehr schnell einander folgenden, nach entgegengesetztem Sinne gerichteten Ursachen in der Wirkung sich aufheben. Es tritt in unserm Fall etwas ganz Aehnliches ein wie bei einem Wassermanometer, das für die schnell wechselnden Druckänderungen der tönen-

den Pfeife¹⁾, oder bei einem Galvanometer, das für die schnell wechselnden Ströme eines Inductionsapparats oder eines Telephons unempfindlich ist.

Bei Anwendung verschiedener Telephone war, wie ich schon oben bemerkt habe, die Grenze der Hörbarkeit nicht die gleiche; die Vermuthung, dass hier wesentlich die Plattendicke bestimmend auftritt und die Abhängigkeit von dieser experimentell zu bestimmen ist, hat sich nicht vollkommen bestätigt. Es rührt dies wohl einerseits daher, dass die in den verschiedenen Platten jedenfalls nicht genau gleichen Elasticitäts- und Steifigkeitsverhältnisse auch einwirken, sowie auch von einem Einflusse, der eine andere, schon oben kurz berührte, jetzt aber noch näher zu besprechende Erscheinung bedingt, und die darin besteht, dass die Telephone für die Fortpflanzung bestimmter Töne eine Art Vorliebe haben.

Es zeigt sich nämlich die merkwürdige Thatsache, dass bei der Grenze einzelne Töne übersprungen werden, d. h. dass Töne ausbleiben, und höhere Töne wieder deutlich hörbar sind; so kam es z. B. bei verschiedenen Telephonverbindungen vor, dass das fünfgestrichene *c* deutlich hörbar war, das darauffolgende *e* nicht, dann aber wieder das *g*, das sechsgestrichene *c* und die höhern aber wieder nicht. Ein noch auffallenderer Fall, den ich allerdings nur bei einer Verbindung von zwei Telephonen mit Platten von 0,13 mm Dicke beobachtete, bestand darin, dass das fünfgestrichene *c* hörbar war, dass dann *e* und *g* übersprungen wurden, der hohe Ton des sechsgestrichenen *c* wieder ganz deutlich durchdrang; während dann sämtliche höhern Töne nicht mehr hörbar waren.

Die Erklärung dieses Ueberspringens von Tönen oder dieser Vorliebe für bestimmte Töne liegt offenbar in dem Einfluss der Eigentöne der Platte. Da die Ausschläge nur klein sind, so schwingt allerdings die Telephonplatte für jeden Ton mit; aber sie thut es lieber und leichter

1) Vgl. A. Kundt. Pogg. Ann. CXXXIV. p. 63. 1868.

und mit verhältnissmässig grösserem Ausschlag, wenn der Ton zugleich ein Eigenton der Platte ist. An der Grenze, wo nun die Platte überhaupt kaum noch nachkommt, treten nur dann noch merklich hörbare Schwingungen ein, wenn die eigene Elasticität die von aussen kommenden Einwirkungen unterstützt, während der Ton nicht mit hinlänglicher Stärke zu Stande kommt, wenn dieser günstige Fall des gegenseitigen Zusammenwirkens nicht eintritt.

Dass bei Beobachtungen nach Art der beschriebenen subjective Umstände, insbesondere die Empfindlichkeit des Gehörorgans, sich mannichfach geltend machen, ist leicht ersichtlich; es wäre deshalb sehr zu wünschen, dass auch noch von andrer Seite die Versuche wiederholt würden, und dass dabei die Plattendicken noch innerhalb weiterer Grenzen variiert würden, als es bei meinen Versuchen geschehen ist.

Ich füge zum Schluss noch die Bemerkung bei, dass die durch meine Versuche festgestellten Thatsachen, ganz abgesehen von den in der Theorie der Induction liegenden und u. a. von den Herren H. F. Weber und Helmholtz erörterten Gründen, eine unveränderte Uebertragung der Klangfarbe durch das Telephon als unmöglich erscheinen lassen. Besonders in den Fällen, wo die Klangfarbe auf hohen Obertönen beruht, wird eine Aenderung derselben unausbleiblich sein. Der Phonograph ist, soviel ich die Sache untersucht habe, für hohe Töne noch weniger empfindlich als das Telephon; die Töne der König'schen Klangstäbe lassen gar keine merkliche Spur bei ihm. Es erklärt dies auch den Umstand, dass der Phonograph den durch einen hohen Oberton charakterisirten Vocal I nur höchst mangelhaft wiedergibt.
