9. *Über Telephonplatten mit hohen Eigentönen; von Max Wien.*

Hr. Wiersch hat kürzlich¹⁾ darauf hingewiesen, daß man beim Telephonieren eine deutlichere Sprache erzielen könne, wenn man Platten verwendet, deren Eigentöne wesentlich höher liegen, wie bisher üblich, so daß sie etwa in den Bereich der Schwingungszahlen der Zischlaute der menschlichen Sprache fallen.

Bei Gelegenheit einer physiologischen Untersuchung²⁾ habe ich vor einiger Zeit kleine Telephone mit Platten von 1 cm und 0,5 cm Durchmesser bei 0,2 und 0,08 mm Dicke verwandt, deren tiefster Eigenton 12000 bez. 20000 Schwingungen in der Sekunde besaß.

Von denselben Überlegungen ausgehend wie Hr. Wiersch bat ich Hrn. Prof. Dolezalek, welcher damals gerade mit der Untersuchung der Telephonie durch Pupinkabel beschäftigt war, diese Telephone auf ihre Sprachübertragung hin zu prüfen. Das Resultat der Versuche war, daß die Telephone allerdings eine sehr deutliche Übertragung ermöglichen, sie jedoch wegen der sehr geringen Intensität praktisch nicht gut verwendbar sein würden, da nur bei großer Stille und für ein geübtes Ohr die Sprache vernehmbar war.

Über den Grad dieser Verminderung der Tonintensität kann man sich in folgender Art ein Bild machen: Bei fest an das Ohr gedrücktem Telephon ist die Tonintensität für alle Töne bei gleicher Amplitude der Platte dieselbe und dem Quadrat der Amplitude proportional. Ist demnach n die Schwingungszahl des zu übertragenden Tones, p die des tiefsten Eigentones der Platte, so ist die Intensität prop. $\frac{1}{(n^2 - p^2)^2}$, wobei die Dämpfung vernachlässigt, und nur der tiefste Eigenton berücksichtigt ist.

1) E. Wiersch, Ann. d. Phys. 17. p. 999. 1905.

2) M. Wien, Pflügers Arch. 97. p. 1. 1903.

Solange n^2 klein neben p^2 ist, d. h. praktisch für alle *tieferen Töne* bis in die Nähe des ersten Eigentones ist die Tonintensität prop. $1/p^4$. Der tiefste Eigenton der gebräuchlichen Platten liegt etwa bei 700 Schwingungen pro Sekunde, danach ist die Intensität prop. $1/700^4$. Herr Wiersch will Platten anwenden, deren tiefster Eigenton mindestens die zirka zehnfache Schwingungszahl, also 7000 besitzt, dann ist die Intensität prop. $1/7000^4$, also für tiefe Töne unter sonst gleichen Umständen 10000mal kleiner als bei den gebräuchlichen Telephonen. Nimmt man den Eigenton noch eine Oktave höher, so sinkt die Intensität auf $1/160000$!

In den Bereich der *mittleren Schwingungszahlen von 500 bis 5000* fallen die tiefsten und ausgeprägtesten Eigentöne der gebräuchlichen Platten. Die Reproduktion der Töne ist daher in diesem Gebiet ungleichmäßig stark, je nachdem die Töne in der Nähe einer Eigenschwingung liegen oder weiter entfernt sind. Im großen ganzen jedoch ist die Tonwiedergabe sehr laut. Die Eigenschwingungen stören besonders bei den Vokalklängen, deren charakteristische Töne meist in diesen Tonbereich fallen, da wegen der längeren Dauer der Vokalklänge die Resonanz sich voll ausbilden kann, während bei den schnell gedämpften charakteristischen Tönen der Konsonanten dies weniger zu befürchten ist. Das Wierschsche Telephon überträgt alle diese Töne noch gleichmäßig schwach, und zwar dürfte die Verringerung der Intensität gegenüber dem gebräuchlichen Telephon im Durchschnitt mindestens dieselbe sein, wie die obige bei den tiefen Tönen.

Erst bei den *ganz hohen Tönen* kommen die Eigentöne des Wierschschen Telephons zur Geltung; jedoch werden nicht etwa alle Töne dieses Gebietes gleichmäßig verstärkt, sondern vor allem die Umgebung der Eigenschwingungen. Also, wenn wir den Grundton der Platte zu 7000 annehmen, außer dem Tonbereich um 7000 noch derjenige um die zweite Eigenperiode die über eine Oktave höher liegen würde. Die weiteren Eigentöne dürften schon über die Gehörgrenze hinaus fallen. Immerhin wird das ganze Gebiet der höchsten Töne hier stark hervorgehoben werden, während bei den bisherigen Telephonen die höheren Eigentöne nur wenig ausgebildet, und deshalb die ganz hohen Töne relativ sehr schwach durch sie übertragen werden.

Die Folge davon ist, daß sie oft durch die stärkeren, tiefen Töne und die störenden, vielfach gellend hervortretenden Eigentöne der Platte unterdrückt werden, und die Zischlaute und einige andere Konsonanten, deren charakteristische Töne sehr hoch liegen, schlecht zu verstehen sind.

Unzweifelhaft sind für eine *deutliche* Sprachübertragung bei dem Wierschschen Telephon alle Vorbedingungen erfüllt: gleichmäßige Intensität aller tieferen und mittleren Töne ohne störende Eigentöne, und relative Verstärkung der wichtigen höchsten Töne. Auf der anderen Seite steht die prinzipielle Schwierigkeit der *außerordentlichen Schwächung der tiefen und mittleren Töne*, auf denen schließlich doch die Mehrzahl unserer Sprachlaute beruht. Es steht zu befürchten, daß diese Schwächung auch nicht annähernd durch technische Vervollkommnung wiederausgeglichen werden kann. Im praktischen Gebrauch wird daher wohl meist die lautere Übertragung der üblichen Telephone vorgezogen werden, wenn auch einzelne Konsonanten schlecht ausgebildet sind und erraten werden müssen; die Anwendung der Telephone mit hohen Eigentönen dürfte auf besondere Fälle beschränkt bleiben, in denen eine ganz reine Übertragung erwünscht ist, und die äußeren Umstände eine besonders starke Übertragung der Telephonströme ermöglichen.

Übrigens kann man eine ähnliche Verschiebung der Tonintensität nach den hohen Tönen hin bei jedem Telephon in einfachster Weise bewirken, indem man das Telephon nicht fest an das Ohr hält, sondern in einige Entfernung von dem Ohr bringt. Die Tonintensität — Energie pro Flächeneinheit —, welche von einer schwingenden Platte vom Radius R , deren Mitte die Amplitude a macht, an einen Punkt in der Entfernung ϱ gelangt, ist

$$= 6,6 \cdot 10^{-7} \frac{R^4}{\varrho^2} \cdot a^2 \cdot N^4 \cdot \text{Erg.}^1),$$

steigt also porportional der vierten Potenz der Schwingungs-

1) M. Wien, l. c. p. 46. Die Formel ist eigentlich für eine Platte abgeleitet, die sich in einer sonst starren Ebene befindet, durch die der Raum in zwei Hälften geteilt wird. Die Proportionalität der Intensität mit N^4 , worauf es hier allein ankommt, dürfte von dieser Bedingung unabhängig sein.

zahl N^1), während, wie oben erwähnt, bei fest an das Ohr gedrücktem Telephon für die gleiche Amplitude a die Intensität für alle Schwingungszahlen die gleiche ist. Wenn man das Telephon vom Ohre entfernt, so tritt eine Schwächung aller Töne ein, dieselbe ist aber sehr viel größer für die tiefen Töne wie für die hohen. Man kann diese Erscheinung am besten verfolgen, wenn man das Telephon mit der sekundären Spule eines kleinen Induktoriums verbindet, in dessen primärer Spule ein schwacher Strom etwa 100mal in der Sekunde unterbrochen wird. Bei fest an das Ohr gehaltenem Telephon hört man stark den Grundton und die ersten Obertöne, dann schwächer eine große Zahl höherer Obertöne und schließlich das eigentümliche Surren des Telephons, das bei der Einstellung nach der Kohlrauschschen Methode der Messung von Flüssigkeitswiderständen eine Rolle spielt. Dasselbe rührt von den schnell gedämpften ganz hohen Schwingungen her, welche in dem Moment der Unterbrechung entstehen. Hält man das Telephon nur noch lose an das Ohr, so merkt man eine starke Schwächung der tiefen Töne; entfernt man es weiter und weiter, so verschwinden allmählich alle musikalischen Töne, und es bleibt nur jenes Surren übrig, das ziemlich weit hörbar ist, und aus einigen Zentimetern Entfernung charakteristischerweise nicht viel schwächer erscheint, als bei direkt an das Ohr gehaltenem Telephon.

Bei der Sprache erkennt man bei genügend lauter Übertragung ebenfalls leicht die Änderung der Klangfarbe, wenn man das Telephon vom Ohr entfernt. Auch scheint die Sprache deutlicher zu werden, wenigstens verstehe ich — genügende Intensität und Abwesenheit stärkerer Nebengeräusche vorausgesetzt — leichter, wenn ich das Telephon einige Zentimeter vom Ohr fern halte, und erkenne auch besser die Stimme des Sprechenden. Die Verbesserung ist jedoch nicht so groß, wie jene, welche durch die Verwendung von Platten mit hohen Eigentönen hervorgerufen wird, weil die störende Wirkung der tieferen Eigentöne der Platte zwar vermindert wird, aber nicht ganz fortfällt, wie bei diesen.

1) In dieser Bevorzugung der hohen Töne scheint mir auch eine prinzipielle Schwierigkeit bei der Reproduktion der Sprache und Musik durch Phonograph und Grammophon zu liegen.

Im Vorstehenden ist gezeigt, daß durch Verwendung von Platten mit hohen Eigentönen oder durch Entfernung des Telephons vom Ohr und auch bei dem Phonographen die relative Intensität der Töne verschiedener Höhe durchaus verändert wird, so daß das Intensitätsverhältnis der ganz hohen Töne zu den tiefen auf das 100 000fache und darüber gesteigert werden kann. Es ist sehr auffallend, daß die Sprache und ihre Deutlichkeit dadurch nicht in noch viel höherem Grade beeinflußt wird, als es geschieht. Dem unbefangenen Beobachter wird der Einfluß auf die Klangfarbe auffallen, im ganzen aber die Sprache durchaus nicht etwa von Grund aus verändert erscheinen. Dieselbe Erfahrung macht man, wenn man die Telephonströme auf elektrischem Wege beeinflußt, indem man Kondensatoren oder Selbstinduktionsspulen in den Stromkreis einschaltet und dadurch die Übertragung der Töne verschiedener Höhe verändert.¹⁾ Das menschliche Ohr erweist sich mithin hier, wie auch sonst, als recht unempfindlich für Intensitätsunterschiede.

Es erscheint mir hiernach ausgeschlossen, daß das Charakteristische der menschlichen Sprache im wesentlichen im Verhältnis der Intensitäten der Töne, aus denen die verschiedenen Laute bestehen, zu suchen ist, und eine Untersuchung der Sprache, die sich auf die Messung der Amplituden der die Sprache bildenden Töne durch harmonische Analyse beschränkt, ist durchaus unzureichend. Viel hervorragenderen Anteil an der Deutlichkeit der Sprache müssen ganz andere Dinge haben — wie z. B. der Grad der Dämpfung der einzelnen Töne oder das Auftreten und Verschwinden gewisser Töne in bestimmten Zeitintervallen — und für dieses, im wesentlichen noch unbekannte, eigentliche Charakteristische der Sprache muß das Ohr eine erstaunliche Empfindlichkeit besitzen, so daß die Sprache verständlich bleibt, wenn auch die relative Intensität der einzelnen Töne total verändert wird.

Danzig, Phys. Inst. d. Techn. Hochschule, 22. Nov. 1905.

1) M. Wien, Ann. d. Phys. 4. p. 450. 1901.

(Eingegangen 24. November 1905.)