

(Aus dem Psychologischen Institut der Universität Berlin.)

Über den Einfluß von Interferenzröhren auf die Intensität obertonfreier Töne.

Von
Kurt Lewin.

Mit 6 Textabbildungen.

1. Die Wirkung von Interferenzröhren verschiedener Länge auf einen obertonfreien Ton.

Der von einer Edelmann-Pfeife¹⁾ gelieferte Ton e^2 wird zunächst durch eine Anzahl von Interferenzröhren (System I und II) in der gebräuchlichen Weise durch Einstellen je zweier Interferenzröhre auf den 1. bis 5. Oberton

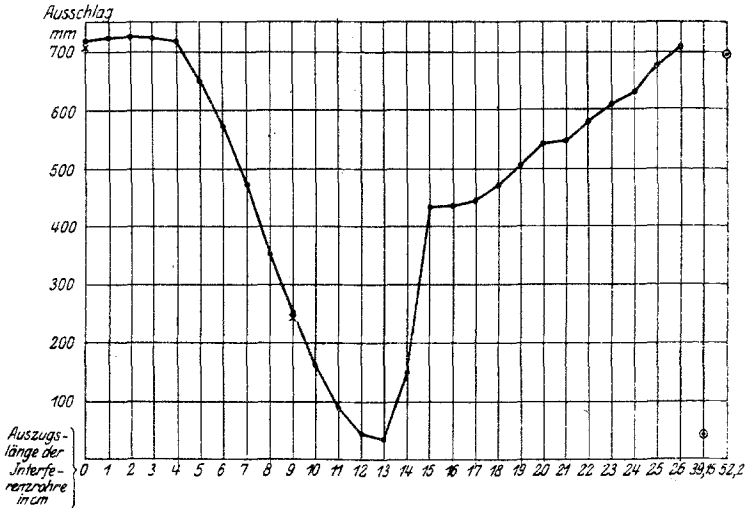


Abb. 1. Wirkung des gleichzeitigen Ausziehens zweier Interferenzröhre auf die Intensität eines obertonfreien e^2 ($\frac{\lambda}{4} = 13,05$ cm)

×) Das Zeichen × in dieser und den weiteren Abbildungen gibt das Resultat der Kontrollmessung für die 1. Einstellung am Schluß der Versuchsreihe wieder und veranschaulicht damit zugleich die für die Messungen zu berücksichtigenden Fehlergrößen. Diese erweisen sich allemal als relativ klein.

¹⁾ Es handelt sich um die Pfeife 1 der in diesem Heft S. 320 beschriebenen Anordnung.

und je eines Interferenzrohres auf den 6. bis 8. Oberton von Obertönen gereinigt. (Seine tatsächliche Obertonfreiheit wurde dadurch sichergestellt, daß 2 bis 3 weitere Zusatzinterferenzröhren von $\frac{1}{4}$ Wellenlänge

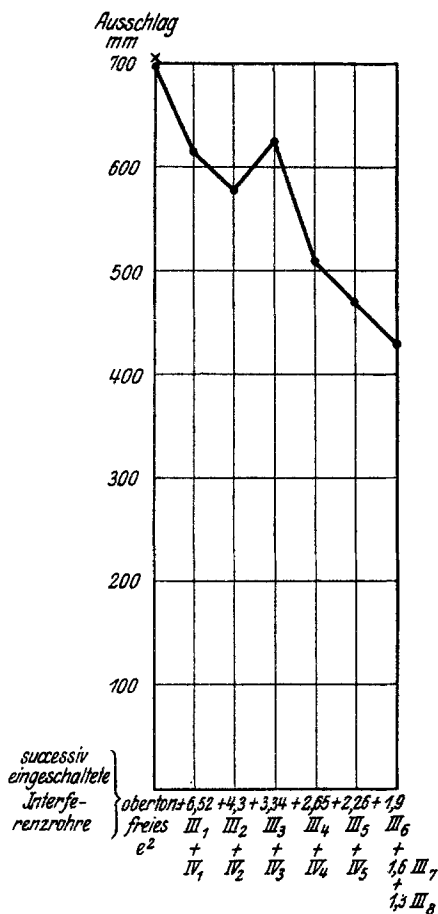


Abb. 2. Der Einfluß einer zweiten Interferenzrohrstellung für Obertonreinigung auf ein obertonfreies e².

röhren auf die beiden tieferen Oktaven (Abszisse 26 und 52,2 der Abb. 1) den Grundton so gut wie gar nicht; sie verstärkt ihn aber auch nicht, wie es nach einer Annahme *Gartens*²⁾ zu erwarten wäre.

des Grundtones subjektiv und objektiv vollkommene Ruhe bewirkten.) Das obertonfreie e² wurde nun als eigentlicher Ausgangston benutzt und der Wirkung zweier weiterer Interferenzrohre ausgesetzt, die im Abstand von 60 cm an der Hauptleitung ansetzten. Diese beiden Interferenzrohre wurden gleichzeitig um je 1 cm ansteigend ausgezogen. Die Amplitude der resultierenden Töne wurde mit dem von mir beschriebenen Intensitätsmesser¹⁾ bestimmt.

Abb. 1 veranschaulicht, wie mit dem Ausziehen der Interferenzrohre bis zu $\frac{1}{4}$ Wellenlänge die Intensität des obertonfreien Tones ziemlich gleichmäßig geringer wird und bei größeren Interferenzrohrängen wieder ansteigt. Die physikalische Interferenzbreite erstreckt sich also über die ganze Wellenlänge. Wie bekannt, wirkt auch die Einstellung auf die untere Duodezime sehr stark schwächend. Dagegen beeinträchtigt die Einstellung der Interferenz-

1) Siehe die vorige Abhandlung S. 317.

2) Nach *S. Garten* — Beiträge zur Vokallehre, I. Analyse der Vokale mit dem *Quinckeschen* Interferenzapparat, 1921, Bd. 38, H. 7, S. 20 der Abhandlungen der mathematisch-physikalischen Klasse der Sächsischen Akademie der Wissenschaften — sollen Interferenzrohre von der Länge $\frac{\lambda}{2}(1+n)$ eine Verstärkung bewirken.

2. Die Wirkung der Reinigung eines Tones von Obertönen auf die Intensität des Grundtones selbst.

Für diese und die folgenden Versuche wurde das obertonfrei präparierte e^2 durch eine Leitung geschickt, an die zwei weitere Systeme



Abb. 3.
Einfluß des Abbauens der Obertonreinigung auf die Amplitude des Grundtones (e^2).

a) bei lautem Ton ——— b) bei leisem Ton - - - -
c) Übertragung der Kurve der Abb. 2

von Interferenzröhren: System III mit 8 Röhren und System IV mit 5 Röhren angeschlossen waren. Die Röhren innerhalb eines Systems

Unter gewissen Umständen treten allerdings Verstärkungen auf (vgl. S. 230 und S. 232 ff.); doch lassen sie sich nicht als einfache Wirkungen bestimmter einzelner Röhreinstellungen festlegen (vgl. S. 334 f.).

hatten den Abstand von 7 cm; das erste Rohr von IV (IV_1) hatte vom letzten Rohr von III (III_0) einen Abstand von 11 cm.

Abb. 2 zeigt, wie der Grundton durch das nochmalige allmähliche Einschalten von Interferenzröhren auf die Obertöne beeinflusst wird, wobei von einem schon obertonfreien e^2 ausgehend, die erstmalige Reinigung nochmals wiederholt wird. Die deutschen Ziffern an der Abscisse bezeichnen die eingestellten Rohrlängen in Zentimetern, die römischen Ziffern die Lage des Interferenzrohres.

Die zweite „Obertonreinigung“ des obertonfreien Grundtones vermindert die Amplitude des Grundtones also um ein gutes Drittel.

Abb. 3 zeigt den Einfluß der ersten Obertonreinigung auf die Intensität des Grundtones und zwar Kurve a für einen stärkeren, Kurve b für einen schwächeren Ton. Von dem gereinigten e^2 ausgehend, wurden die Interferenzröhren der Systeme I und II, die zur ersten Reinigung dienten, ausgeschaltet. Die beiden Kurven sind bis ins einzelne auffallend parallel und stimmen auch mit der Kurve der Abb. 2 (= Kurve c) recht gut überein. Es ergibt sich eine Verminderung der Amplitude des Grundtones bei der ersten Obertonreinigung um ein knappes Viertel. Auffallend ist es, daß das Ausschalten der Interferenzrohre nicht durchgehend eine Verstärkung, sondern bisweilen auch eine Schwächung des Grundtones nach sich zieht.

3. Der Einfluß der Lage des Interferenzrohres zu Bauch und Knoten im Hauptrohr auf die Intensitätsverminderung des Grundtones.

An einem in der Hauptleitung (h) verschiebbaren Verbindungsrohr (v) ist ein Interferenzrohr (i) (Abb. 4) angebracht. Das Interferenzrohr

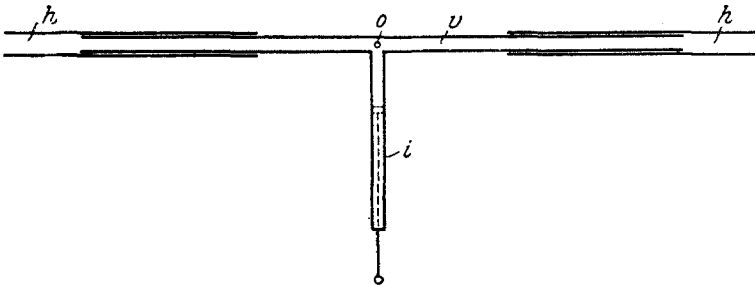


Abb. 4. Anordnung für die Untersuchung des Einflusses der Lage des Interferenzrohres zu Bauch und Knoten im Hauptrohr.

h Hauptleitung, v Verbindungsrohr (verschiebbar), i Interferenzrohr
o Öffnung für das Abhörrohrchen.

ist dauernd auf 13,05 cm (= $\frac{1}{4}$ Wellenlänge) eingestellt. Durch Verschieben des die Interferenzröhre tragenden Verbindungsrohres um je 4 cm wird der Einfluß der Lage des Interferenzrohres zu Knoten und Bauch im Hauptrohr über eine Länge von 60 cm festgestellt. [Um

zur Bestimmung der Lage von Knoten und Bauch im Hauptrohr nicht auf das Messen der Gesamterfernung bis zum Anfang oder Ende der Hauptleitung angewiesen zu sein, brachte ich eine kleine Öffnung (o) (3 mm) an der Ansatzstelle des Interferenzrohres im Verbindungsrohr an. Diese Öffnung ermöglichte ein Abhören des Tones vermittels eines dünnen Schlauches; sie war während der Messung durch einen Stöpsel verschlossen, der innen mit der Rohrebene abschneitt.]

Abb. 5 zeigt, daß das Maximum und Minimum der Beeinträchtigung des Grundtones durch eine auf den Grundton eingestellte Interferenzröhre den gleichen Abstand zeigen wie Knoten und Bauch [= $\frac{1}{4}$ Wellenlänge¹⁾]. (Der Umstand, daß das zweite Intensitätsmaximum des Tones hinter dem ersten zurückbleibt, hängt vielleicht mit einer Beeinträchtigung der Hauptleitung durch die Verschiebung der Verbindungsrohre zusammen, könnte aber auch als Abhängigkeit des Einflusses des Interferenzrohres von seiner Lage innerhalb der ganzen Leitung gedeutet werden.)

Wurde nach Ausschalten des Interferenzrohres (Einschieben des Kolbens) die leiseste und die lauteste Stelle in der Hauptleitung mittels des Abhörröhrchens festgestellt, so ergab sich zwar wiederum $\frac{1}{4}$ Wellenlänge Abstand zwischen beiden Punkten, diese Punkte waren jedoch

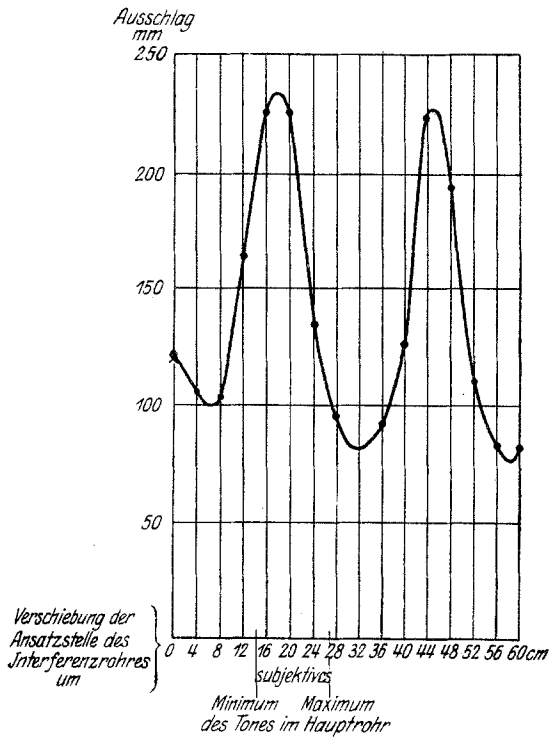


Abb. 5. Einfluß der Lage des Interferenzrohres zu Bauch und Knoten im Hauptrohr auf die Intensität des resultierenden Grundtones.

Das Interferenzrohr ist konstant auf $e^2 \left(\frac{\lambda}{4} = 18,05 \text{ cm} \right)$ eingestellt. Das subjektive Maximum und Minimum im Hauptrohr wurde bei ausgeschaltetem Interferenzrohr bestimmt. Der Ausschlag in diesem Falle betrug 1016 mm.

¹⁾ Ob bei Einstellung des Interferenzrohres auf einen Oberton eine gleichartige Kurve resultiert, erscheint zweifelhaft.

gegen die Stellen des *Maximums* und *Minimums* der Interferenzwirkung beträchtlich verschoben (siehe Abb. 5). Möglicherweise ist die Lage von Knoten und Bauch im Hauptrohr durch das Einschieben des Kolbens im Interferenzrohr verschoben worden. Dieses Ergebnis bedarf jedoch noch der Nachprüfung.

4. Die Wirkung mehrerer auf denselben Oberton eingestellter Interferenzrohre auf die Intensität des obertonfreien Grundtones.

Das obertonfrei präparierte e^2 wird durch die weiteren Interferenzrohrsysteme III und IV (siehe S. 330) geleitet. Die verschiedenen Interferenzröhren werden nacheinander einzeln zusätzlich eingeschaltet, und zwar alle auf den 1. Oberton ($\frac{\lambda}{4} = 6,52 \text{ cm}$). Es wird mit III₁ beginnend zunächst jede dritte Röhre eingeschaltet (III₁, III₄, III₇, IV₁, IV₃), danach überdies die übriggebliebenen zwischenliegenden Interferenzröhren.

Es ergab sich Kurve a (Abb. 6): Zunächst sinkt die Amplitude des obertonfreien Grundtones durch das Einstellen auf den ersten Oberton bis auf weniger als 20% der Ausgangsamplitude. Das Einstellen noch weiterer Interferenzröhren auf den 1. Oberton läßt den Grundton jedoch wieder anwachsen, derart, daß bei 13 Interferenzröhren der Grundton fast seine alte Intensität erlangt hat¹⁾.

Das entsprechende Einstellen der Interferenzröhren lediglich auf den 2. oder 3. Oberton (4,3 cm und 3,34 cm; Kurve b und c) zeigt ebenfalls keineswegs eine regelmäßige Abnahme der Intensität des Grundtones. Der Einfluß bleibt recht beträchtlich, ist aber ganz unregelmäßig in seiner Richtung. Ja, die Einstellung der Interferenzrohre auf den 4. Oberton (= 2,65 cm; Kurve d) bringt zunächst eine dauernde Steigerung des obertonfreien Grundtones mit sich.

Die Deutung dieser auffallenden Erscheinungen ist wohl in der Richtung zu suchen, daß die einzelnen Interferenzrohre mit der Gesamtleitung ein hochgradig gekoppeltes System darstellen, bei dem die Wirkung der einzelnen Interferenzrohre sich nicht einfach für sich betrachten und addieren läßt, sondern wo durch Verschiebung an einem Interferenzrohr die stehenden Wellen im Gesamtsystem verändert werden.

Um die Wirkung der einzelnen verschieden gelegenen Interferenzrohre bei Einstellung auf den ersten Oberton zu bestimmen, wurde

¹⁾ Man darf sich durch das Aussehen der Linie a (dasselbe gilt von b, c und d) nicht verleiten lassen, sie einfach als Funktion der Zahl der ausgezogenen Rohre aufzufassen (entsprechend etwa der Kurve in Abb. 1, wo wirklich die Ausschläge eine stetige Funktion der Rohrlänge sind). Eine Veränderung in der willkürlichen Reihenfolge der Rohre würde wahrscheinlich ein ganz anderes Bild geben.

die Intensität des Grundtones bei Einstellung immer nur *einer* Interferenzröhre gemessen. Es ergaben sich die in Tab. I angeführten Größen.

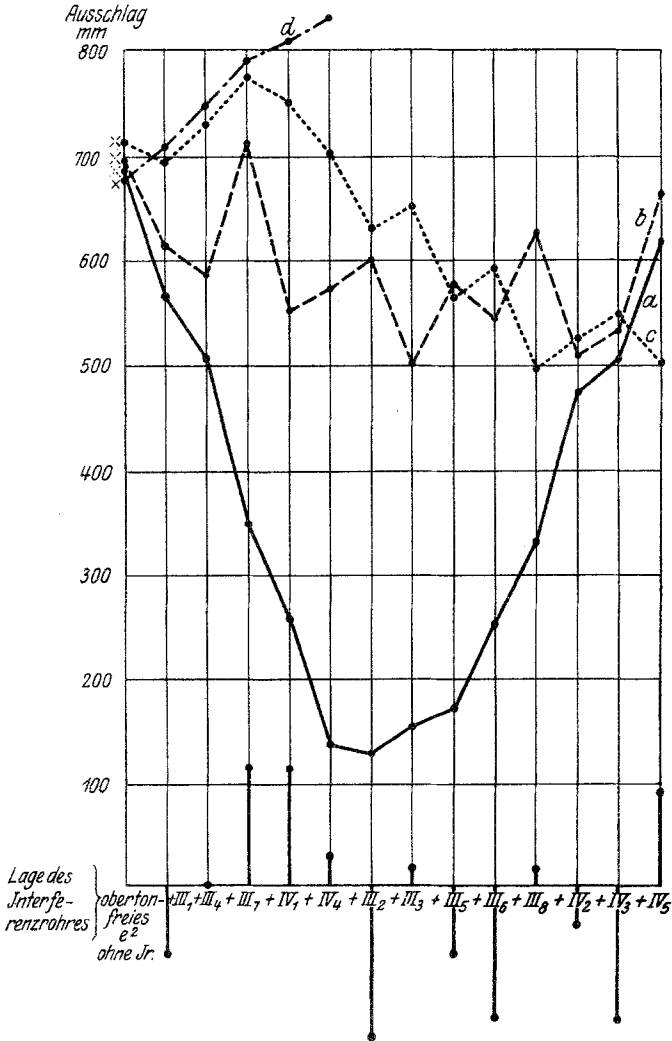


Abb. 6. Wirkung mehrerer auf denselben Oberton eingestellter Interferenzröhre auf die Intensität eines obertonfreien Tones (e²).

- Sukzessiv zusätzliches Einstellen der einzelnen Interferenzröhre auf den
- a) 1. Oberton ($\frac{\lambda}{4} = 6,52 \text{ cm}$) ———
 - b) 2. „ ($\frac{\lambda}{4} = 4,3 \text{ „}$) - - - -
 - c) 3. „ ($\frac{\lambda}{4} = 3,84 \text{ „}$)
 - d) 4. „ ($\frac{\lambda}{4} = 2,65 \text{ „}$) -

a') Wirkung der einzelnen Interferenzröhre für sich bei Einstellung auf den 1. Oberton:

Verstärkung ↑
Größe der Verminderung ↓

der Amplitude des Grundtones (vgl. Tab. I).

Tabelle I.

Einfluß einer Interferenzröhre, die an verschiedenen Stellen der Leitung auf den 1. Oberton eingestellt wird, auf die Intensität des obertonfreien Grundtones (0,79 Schwingungen über e_2) (vgl. Abb. 6, Größen a').

Interferenzrohr	Ausschlag mm	Veränderung der Grundton- amplitude mm	Interferenzrohr	Ausschlag mm	Veränderung der Grundton- amplitude mm
Ohne Interferenzrohr	701 [699 ¹⁾]		III ₆	578	-123
III ₁		-68	III ₇	813	+112
III ₂	554	-147	III ₈	718	+17
III ₃	719	+18	IV ₁	812	+111
III ₄	701	± 0	IV ₂	664	-37
III ₅	637	-64	IV ₃	575	-126
			IV ₄	731	+30
			IV ₅	797	+96

Es zeigt sich, daß als größte *Schwächung* des obertonfreien Grundtones durch Einstellen eines einzelnen Interferenzrohres auf den 1. Oberton eine Verminderung des Ausschlages um 120 mm vorkommt (bei einem ursprünglichen Ausschlag von 700 mm), daß aber *bei anderer Lage im Gesamtsystem die Einstellung des Interferenzrohres auf den ersten Oberton auch eine Steigerung des Grundtones bewirken kann*, und zwar um einen fast ebenso großen Betrag. (Diese Verminderung oder Verstärkung ist in Abb. 6 durch senkrechte Striche von der Abscisse nach oben oder nach unten dargestellt.)

Ein Vergleich dieser Größen mit Kurve 6a bestätigt überdies, daß die Einstellung eines Interferenzrohres auf den 1. Oberton den Grundton keineswegs in der gleichen Größe und Richtung beeinflußt, wenn dieses Interferenzrohr *allein* benutzt wird oder wenn außerdem noch *andere* Interferenzrohre eingestellt sind²⁾. (Vgl. z. B. die Wirkung der Interferenzröhren III₇, III₂ und IV₃ für sich allein [Größe a'] und in Kombination mit anderen Röhren [Ausschlagsänderung gegenüber der vorhergehenden Einstellung bei Kurve a]).

Zusammenfassung.

Bei der Benutzung von Interferenzröhren ist, zumal wo Intensitäten eine Rolle spielen, nicht außer acht zu lassen, daß die einzelnen Interferenzrohre mit der Hauptleitung zusammen ein *eng gekoppeltes System*

¹⁾ Kontrollmessung am Schlusse der Reihe.

²⁾ Nicht berücksichtigt in diesen Kurven und Tabellen sind die beim Einstellen der verschiedenen Interferenzrohre etwa eingetretenen Verschiebungen in der Frequenz des Grundtones. Ihr Einfluß auf die Intensitätsmessung ist jedoch als gering zu veranschlagen, zumal der gemessene Ton dem Membraneigentone nicht zu nahe kam.

bilden, bei dem die Wirkungen der einzelnen Interferenzrohre nicht für sich allein betrachtet werden dürfen.

Im einzelnen ergab sich für e^2 :

Die Interferenzrohre zeigen nicht nur bei gewissen ausgezeichneten Längen (resp. Längenbereichen), sondern bei *jeder* Einstellung einen Einfluß auf die physikalische Intensität eines reinen Tones. Größe und Richtung dieses Einflusses bei gegebener Rohrlänge ist stark abhängig von der *Lage* des Rohres im Gesamtsystem.

Die Größe des Einflusses für Einstellung auf $\frac{\lambda}{4}$ ist eine Funktion der Lage von Bauch und Knoten in der Hauptleitung (umgekehrt wird deren Lage wahrscheinlich durch Ausziehen eines Interferenzrohres bisweilen verschoben).

Der Einfluß eines einzelnen Interferenzrohres ist abhängig von der Anzahl, Lage und Länge der bereits wirksamen Interferenzrohre.

Die angegebenen Werte (einschließlich Kurve 1) können daher nicht als allgemeingültig, sondern nur als herausgegriffene Fälle angesehen werden.

(Eingegangen am 24. August 1922.)
