Über die Stimmgabeln.

Dritte Mitteilung.

Die Schwingungszahlen der Hartmannschen oberen Stimmgabeltonreihen.

Von

Dr. H. TSUKAMOTO.

(Mit 1 Figur)

Aus der oto-rhino-laryngologischen Klinik (Direktor: Prof. Dr. T. HOSHINO)
und der III. medizinischen Klinik (Direktor: Prof. Dr. T. MASHIMO)
der Kaiserlichen Universität zu Kioto.

EINLEITUNG.

Ich habe schon in der ersten Mitteilung gezeigt, dass es so gut wie keine Stimmgabeln gibt, die die erwartete Tonhöhe geben. Das gilt für die einheimischen wie für die aus Deutschland. Ich habe das durch Bestimmung der Tonhöhe mehrerer einheimischer und in Deutschland verfertigten Hartmannscher Stimmgabeln, welche wir täglich in der Klinik zu gebrauchen pflegen, mittelst einer besonderen elektroakustischen Einrichtung festgestellt. Meine Ergebnisse sind bei der Wahl von Stimmgabeln für Hörprüfung sehr wichtig.

Daher habe ich die Untersuchungen der Hartmannschen c^3 , c^4 und fis^4 Gabeln anstatt mittels der objektiven Methode mit der subjektiven unternommen und bemerkt, dass diese Gabeln wie erwartet ganz ähnliche Abweichungen von der Norm wie die schon von mir geprüften aufweisen.

Methodik des Experiments.

Zur Bestimmung der Schwingungszahl eines Tones kann man eine grosse Zahl von Methoden verwenden. Ich habe bei diesem Experimente die Methode der stehenden Wellen benutzt.

Man bestimmt die Länge der Wellen durch Messung der Knote-

nabstände und leitet aus der so ermittelten Wellenlänge und der als bekannt angenommenen Schallgeschwindigkeit die Schwingungszahl des Tones ab. Man erzeugt hier den zu untersuchenden Ton in einem mit ihm verbundenen Körper vom linealen Typus. Ich verwendete bei meinem Experimente in einer Luftsäule stehende Wellen. Zum Zwecke der indirekten Messung der Schwingungszahl des Tones habe ich wie Fig (7) zeigt, eine besondere Einrichtung benutzt.

D ist ein Glasrohr, dessen Diameter 3cm und dessen Länge 100cm beträgt. Der Stöpsel am Glasrohrboden ist von einem Glasröhrchen durchbohrt, welches mittelst eines Kautschukschlauches mit der Flasche C verbunden ist.

Man kann die Länge der Luftsäule im Glasrohre regulieren, indem man in dieses Wasser einfließen lässt und die Flasche nach oben oder unten bewegt.

Bricht man eine schwingende Stimmgabel, deren Schwingungszahl schon als n bekannt ist, an die Mündung des Glasrohrs, so muss es im allgemeinen zu erzwungenen Schwingungen der Luftsäule im Glasrohre kommen. Bewegt man darauf die Flasche nach oben oder unten, um die Länge der Luftsäule im Glasrohre zu regulieren, und lässt man die Schwingungszahl der Luftsäule n werden, so hört man wegen des Zusammenschwingens der Luftsäule und der Stimmgabel einen starken Ton. Da die regulierte Luftsäulenhöhe l sowie der Radius des Glasrohrs r durch Messung bekannt sind, (bei meinem Experimente betrug r 1,5 cm) kann man folgende Formel aufstellen, wobei die Luftsäulenschwingungszahl und die Gabelschwingungszahl gleich gross sind :

$$V = 4 n (1 + 0,57. r) \quad \text{und}$$

$$n = \frac{V}{4 (1 + 0,57. r)}$$

Bemerkungen zu meinem Experimente.

1) Messung der Schallgeschwindigkeit in meinem Glasrohre.

In der obigen Formel ist V völlig unbekannt. Daher muss man als Vorbereitung zunächst experimentell mit mustergültiger Stimmgabel unter Berücksichtigung der Veränderungen der Atmosphärentemperatur die

Schallgeschwindigkeit in diesem Glasrohre messen.

2) Einfluss der Temperatur auf die Schallgeschwindigkeit in der Luft. Dass die Schallgeschwindigkeit in der Luft (und ebenso in anderen Gasen) von der Temperatur abhängt, folgt theoretisch unmittelbar aus der Grundformel, wonach sich die in ihr vorkommende Dichte bzw. das spezifische Volumen eines Gases gemäss dem *Gay-Lussac* schen Gesetz mit der Temperatur ändert. Führt man den Barometerstand 76 cm, die Dichte des Quecksilbers q und die Dichte d_0 der Luft bei $0^\circ C$. ein und nennt man C_0 bzw. C_θ die Schallgeschwindigkeiten bei 0° bzw. $\theta^\circ C$., so erhält man den Ausdruck:

$$C_\theta = (1 + a\theta) \sqrt{\frac{76gqk}{d_0}} = C_0 \sqrt{1 + a\theta} \dots\dots\dots(1)$$

Lässt sich $\sqrt{1 + a\theta}$ nach dem binomialen Lehrsatz entwickeln, so kann man alle höheren Potenzen von a^2 ab vernachlässigen, weil a sehr klein ist. Also hat man folgende Formel:

$$C_\theta = C_0 \left(1 + \frac{1}{2} a\theta\right) \dots\dots\dots(2)$$

Setzt man die Werte $C=33070$ cm/sek und $a=0.00367$ ein, so hat man folgende Formel: $C=33070 + 61. \theta. \text{ cm. sek}^{-1} \dots\dots\dots(3)$

3) Einfluss des Druckes auf die Schallgeschwindigkeit in der Luft. Nach der Theorie besitzt der Druck, unter dem die Luft steht, keinen Einfluss auf die Schallgeschwindigkeit, wenn sich die Atmosphärentemperatur nicht verändert, da das Verhältnis von Druck und Dichte nach dem *Boyleschen* Gesetze konstant ist. In der praktischen Endformel $V = \sqrt{k \frac{d_1}{p_1}}$ darf daher d_1/p_1 durch den ein und für allemal gegebenen Wert d_2/p_2 ersetzt werden. Dabei bedeuten v, k, d_1 und d_2 die Schallgeschwindigkeit bei p_1 -Atmosphärendruck, Wert der Wärmekapazität der Luft, Dichtigkeit der Luft bei p_1 -Atmosphärendruck und Dichtigkeit der Luft bei p_2 -Atmosphärendruck.

4) Einfluss der Tonstärke auf die Schallgeschwindigkeit in der Luft. Es ist durch unzählbare Experimente vieler Autoren festgestellt, dass die

Schallgeschwindigkeit von der Schallstärke unabhängig ist.

5) Ich habe mindestens zehnmal die Wellenlänge des betreffenden Tones gemessen, um Fehlerquellen möglichst auszuschalten.

6) Ich habe auch hier wie in der ersten Mitteilung möglichst konstante Anschlagkraft der Stimmgabeln benutzt.

Material für meine Experimente.

Ich habe mich bei diesem Experimente auf die Prüfung von neulich gekauften, unverrosteten nicht mit Laufgewichten beschwerten Hartmannschen c^3 -Gabeln, c^4 -Gabeln und fis^4 -Gabeln beschränkt, wie wir sie täglich in der Klinik zu Hörprüfungen verwenden.

a) c^3 -Gabeln.

Als c^3 -Gabeln habe ich zwei aus Deutschland, eine aus der Dosaka, zwei aus der Iwasa, drei aus der Nakamura und zwei aus der Nagashima verwendet.

b) c^4 -Gabeln.

Unter zehn c^4 -Gabeln stammen zwei aus Deutschland, eine aus der Dosaka, zwei aus der Iwasa, drei aus der Nakamura und zwei aus der Nagashima.

c) fis^4 -Gabeln.

Zwei fis^4 -Gabeln sind aus Deutschland, eine aus der Dosaka, zwei aus der Iwasa, drei aus der Nakamura und zwei aus der Nagashima.

Untersuchungsergebnisse.

A) Schallgeschwindigkeit in meinem Glasrohre, dessen Diameter 3 cm beträgt.

Ich musste in erster Linie die Schallgeschwindigkeit in der Luft meines Glasrohres messen. Daher habe ich wiederholt mit der c^2 -Stimmgabel, deren Schwingungszahl 569 beträgt, bei 12°C Zimmertemperatur mühsame Experimente angestellt und dabei die Viertelwerte der verlangten Wellenlänge zu 13,5 cm gefunden,

Aus der Wert 1 und der Formel (1) bestimmte sich die Schallgeschwindigkeit bei 12°C zu 32692 cm. sek⁻¹.

Nach Formel (2) ergab sich bei 0°C die Schallgeschwindigkeit zu 31960 cm sek⁻¹.

B) Schwingungszahlen der Stimmgabeln.

Ich habe die Untersuchungsergebnisse in den folgenden drei Tabellen angeordnet.

In den Tabellen bedeuten l , r , T , V sowie n die Luftsäulenlänge, den Radius meines Glasrohrs, die Zimmertemperatur, die Schallgeschwindigkeit bei T und die Schwingungszahl der Stimmgabel.

Tabelle 1.
Schwingungszahl der C_3 -Stimmgabeln.

Fabrik		1	$1+0.57r$	$\frac{4}{0.57r}(1+0.57r)$	T	61T	V	n
Nagashima	C_3	6.8	7.655	30.62	12.0	732.0	32692	1067
Nagashima	C_3	6.3	7.155	28.62	9.8	597.8	32557.8	1137
Nakamura	C_3	5.8	6.655	26.62	9.8	597.8	32557.8	1223
Dosaka	C_3	5.6	6.455	25.82	10.2	622.2	32582.2	1261
Iwasa	C_3	7.9	8.755	35.02	10.2	622.2	32582.2	930
Deutschland	C_3	8.0	8.855	35.42	11.5	701.5	32661.5	922
Iwasa	C_3	8.3	9.155	36.62	11.5	701.5	32661.5	892
Nakamura	C_3	5.4	6.255	25.02	11.2	683.2	32643.2	1340
Nakamura	C_3	5.3	6.155	24.62	11.2	683.2	32643.2	1325
Deutschland	C_3	6.7	7.555	30.22	11.2	683.2	32643.2	1080

Tabelle 2.
Schwingungszahl der C_4 -Stimmgabeln.

Fabrik	Stimm- gabel	1	$1+0.57r$	$\frac{4}{0.57r}(1+0.57r)$	T	61T	V	n
Nakamura	C_4	2.8	3.655	14.620	12.2	744.2	32704.2	2236
Nakamura	C_4	2.9	3.755	15.020	12.0	732.0	32692.0	2176
Nagashima	C_4	3.1	3.955	15.820	10.0	610.0	32570.0	2058
Iwasa	C_4	3.4	4.255	17.020	9.5	579.5	32539.5	1911
Iwasa	C_4	3.6	4.455	17.820	13.7	835.7	32795.7	1840
Nagashima	C_4	3.1	3.955	15.820	13.8	841.8	32801.8	2073
Nakamura	C_4	2.7	3.555	14.220	13.0	793.0	32753.0	2303
Deutschland	C_4	3.2	4.055	16.220	14.2	866.2	32826.2	2023
Deutschland	C_4	3.3	4.155	16.620	14.2	866.2	32826.2	1975
Dosaka	C_4	3.0	3.855	15.420	9.5	579.5	32559.5	2111

Tabelle 3.
Schwingungszahl der fis₄-Stimmgabeln.

Fabrik	Stimm- gabel	$\frac{4}{0.57r} (1 + 0.57r)$	$1 + 0.57r$	1	T	61T	V	n
Deutschland	Fis 4	11.82	2.955	2.1	8.0	488.0	32448.0	2745
Nakamura	Fis 4	11.02	2.755	1.9	8.0	488.0	32448.0	2944
Nakamura	Fis 4	11.02	2.755	1.9	9.1	555.1	32515.1	2950
Nagashima	Fis 4	11.42	2.855	2.0	9.1	555.1	32515.1	2847
Dosaka	Fis 4	10.22	2.555	1.7	10.1	616.1	32576.1	3187
Deutschland	Fis 4	12.22	3.055	2.2	10.1	616.1	32576.1	2665
Iwasa	Fis 4	13.42	3.355	2.5	8.2	500.2	32460.2	2418
Iwasa	Fis 4	11.02	2.755	1.9	8.2	500.2	32460.2	2945
Nagashima	Fis 4	11.42	2.855	2.0	12.2	744.2	32704.2	2863
Nakamura	Fis 4	10.62	2.655	1.8	12.5	744.2	32704.2	3079

Kritisches. (Siehe Tafel I)

1) Schwingungszahl der c³-Stimmgabeln.

Alle besitzten verschiedene Schwingungszahlen, deren Maximalwert 1340 und deren Minimalwert 982 beträgt, die Differenz zwischen Maximalwert und Minimalwert also 448. Die Stimmgabel mit Maximalwert stammt aus der Nakamura und die mit Minimalwert aus der Iwasa.

Im einzelnen gilt folgendes: Zwei Stimmgabeln haben je 1340 und 1325 Schwingungen. Mit anderen Worten, ihre Schwingungszahlen liegen zwischen f³ und e³.

Ferner haben zwei Gabeln je 1261 und 1223 Schwingungen. Sie liegen also in der Durtonleiter zwischen e³ und d³.

Drei Gabeln haben je 1137, 1080 und 1967 Schwingungen zwischen d³ und c³. Endlich haben drei Gabeln je 922, 930 und 892 Schwingungen zwischen h² und a². Doch sollen die c²-Gabeln bei Lufttemperatur von 10–20°C annähernd 1622 Schwingungen aufweisen.

2) Schwingungszahlen der c⁴-Stimmgabeln.

Theoretisch haben c⁴-Stimmgabeln bei 0°C Atmosphärentemperatur 2048 und bei 5–15°C Lufttemperatur ungefähr 2044–2046 Schwingungen. Aber keine meiner Stimmgabeln liess die erwartete Schwingungszahl erkennen. Alle Stimmgabeln besaßen ihre eigene Schwingungszahl. Der

Maximalwert betrug 2303 und der Minimalwert 1880. Die Differenz zwischen den beiden Extremen macht also 459 aus.

Im einzelnen gilt folgendes: Fünf Stimmgabeln besaßen je 2303, 2236, 2111, 2058 und 2073 Schwingungen zwischen d^4 und c^4 in der Durtonleiter. Zwei Gabeln je 2023 und 1975 Schwingungen zwischen c^4 und h^3 , zwei Gabeln 1911 und 1844 Schwingungen zwischen h^3 und a^3 . Die Gabel mit dem Maximalwert stammte aus der Nakamura und die mit dem Minimalwert aus der Iwasa.

3) Schwingungszahlen der fis^4 -Gabeln.

Gute fis^4 -Gabeln müssen für 0°C Lufttemperatur annähernd 2860 mal pro Sekunde schwingen. Alle Stimmgabeln ausser denen aus der Nagashima haben ihre besondere Schwingungszahlen mit einem Maximalwert von 3187 und einem Minimalwert von 2418. Die Differenz zwischen den beiden Extremen beträgt also 769. Zwei Gabeln haben je 3187 und 3079 Schwingungen zwischen a^4 und g^4 in der Durtonleiter, vier Gabeln je 2950, 2945, 2944 und 2745 Doppelschwingungen zwischen f^4 und g^4 , eine Gabel 2665 Schwingungen zwischen f^4 und e^4 und endlich eine Gabel 2418 zwischen d^4 und e^4 .

Die Gabel mit dem Maximalwert stammte aus der Nakamura und die mit dem Minimalwert aus der Iwasa. Zwei fis^4 -Gabeln aus der Nagashima besitzen annähernd 2860 Schwingungen.

Schluss.

1) Keine der von mir geprüften c^3 -Stimmgabeln besitzt 1024 Doppelschwingungen. Ihre Schwingungszahlen liegen zwischen f^3 und a^2 in der Durtonleiter.

2) Die Schwingungszahlen aller c^4 -Gabeln betragen nicht 2048, sondern liegen zwischen d^4 und a^3 .

3) Ausser den Gabeln aus der Nagashima zeigen auch die fis^4 -Gabeln keine einheitliche Schwingungszahl. Ihre Schwingungszahlen liegen zwischen a^4 und d^4 .

I. Mitteilung, veröffentlicht auf der zweiten Jahresversammlung der Gesellschaft der oto-rhino-laryngologischen Klinik in Nagoya 1927.

II—V. Mitteilung, veröffentlicht auf der Jahresversammlung der

japanischen oto-rhino-laryngologischen Gesellschaft in Sapporo 1928.

VI—VIII. Mitteilung, veröffentlicht auf der Jahresversammlung der japanischen oto-rhino-laryngologischen Gesellschaft in Tokio 1929.

Tafel. I.