



## 2. Lieferumfang

- |  |   |
|--|---|
| 1 Tablett mit Schaumstoffeinsatz für<br>Lehrgerät "Akustik"        | 15 Glasrohr für geschlossene Luftsäule    |
| 2 Monochord  | 16 Stiel zu Chladni-Platte/ Glockenschale |
| 3 Steg zum Monochord   | 17 Galtonpfeife                           |
| 4 Metallophon  | 18 Schreibstift mit Halter                |
| 5 Chladni-Platte   | 19 Lycopodiumpulver                       |
| 6 Stimmgabel, 1700 Hz  | 20 Kunststoffklotz zu Tischklemme         |
| 7 Stimmgabel, 440 Hz   | 21 Gummikappe                             |
| 8 Schreibstimmgabel, 21 Hz   | 22 Glockenschale                          |
| 9 Federwaage   | 23 Zungenpfeife                           |
| 10 Halteklammer  | 24 Lippenpfeife                           |
| 11 Tischklemme   | 25 Stahlsaite                             |
| 12 Helmholtz-Resonator<br>Ø 70 mm<br>Ø 52 mm<br>Ø 40 mm<br>Ø 34 mm | 26 Perlonsaite                            |
| 13 Glasrohr für offene Luftsäule                                   | 27 Wellenseil                             |
| 14 Kundt'sche Röhre  | 28 Abstimmstieber                         |



### 3. Technische Daten

Abmessungen: ca. 530x375x155 mm<sup>3</sup>  
Masse: ca. 4,5 kg

### 4. Experimentierbeispiele

#### 1. Saitentöne

- Die mäßig gespannte Saite des Monochords mit dem Finger kräftig anzupfen.
- Dann durch Rechtsdrehen des Wirbels die Saitenspannung erhöhen und abermals anzupfen.

Man vernimmt zuerst einen tiefen, anschließend einen höheren Ton.

Erklärung: Schwingende Saiten erzeugen durch abwechselnde Verdichtung und Verdünnung der umgebenden Luft akustische Töne. Je höher die Saitenspannung, desto schneller die Schwingung und desto höher der Ton.

#### 2. Der reine akustische Ton

- Die Stimmgabel (440 Hz) kräftig mit dem Anschlaghammer des Metallophons anschlagen.

Man vernimmt einen reinen akustischen Ton ganz bestimmter, unveränderlicher Tonhöhe, der langsam ausklingt.

Erklärung: Die Stimmgabel besteht aus einem U-förmig gebogenen Stahlstück, das im Scheitelpunkt (Bogen) in einen Stiel übergeht. Da die Stimmgabel nur in einer Schwingungsform zu schwingen vermag (gegenläufige Bewegung der Zinken von innen nach außen und umgekehrt) erzeugt sie einen reinen Ton unveränderlicher Höhe. Wegen der unveränderlichen Tonhöhe verwendet man die Stimmgabel zum Stimmen der Musikinstrumente.

#### 3. Schwingende Luftsäulen

- Das Glasrohr für geschlossene Luftsäule mittels Tischklemme, Kunststoffklotz und Halteklammer am Arbeitstisch befestigen.
- Den Abstimmsschieber in das Glasrohr einführen.
- Die Stimmgabel (440 Hz) kräftig mit dem Anschlaghammer des Metallophons anschlagen. Durch mehr oder weniger starkes Ausziehen des Abstimmsschiebers die Länge der "geschlossenen Luftsäule" verändern.

Nur in einer Stellung des Abstimmsschiebers kommt die Luftsäule in starke Mitschwingung

(Resonanz), in allen anderen Stellungen bleibt sie stumm. Die Resonanz ist durch eine Überhöhung der Lautstärke wahrnehmbar.

Erklärung: Geschlossene Luftsäulen kommen in Mitschwingung, wenn ihre Länge einem Viertel der erregenden Wellenlänge entspricht. Die Stimmgabel schwingt mit 440 Schwingungen in der Sekunde. Nach der Beziehung

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

beträgt die Wellenlänge des erzeugten Tons 77,2 cm. Eine Viertelwellenlänge ist also 19,3 cm.

Der Abstand des Kolbens von der Rohröffnung beträgt im Resonanzfall 19,3 cm.

#### 4. Die offene Luftsäule

- Den Versuch mit dem Glasrohr für offene Luftsäule durchführen.

Die offene Luftsäule von genau der doppelten Länge der geschlossenen kommt bei Vorhalten der Stimmgabel in Mitschwingung, was durch eine Überhöhung der Lautstärke wahrnehmbar ist.

Erklärung: Offene Luftsäulen kommen in Mitschwingung, wenn ihre Länge einer halben Wellenlänge oder einem Vielfachen einer halben Wellenlänge entspricht. An den Enden der offenen Luftsäule bilden sich Schwingungsbäuche, in der Mitte ein Schwingungsknoten.

#### 5. Die Lippenpfeife

- Die Lippenpfeife anblasen und durch Ausziehen des Stempels die Pfeifenlänge verändern.

Man vernimmt je nach Pfeifenlänge einen mehr oder weniger tiefen Ton charakteristischer Klangfarbe.

Erklärung: Beim Einblasen eines gleichmäßigen Luftstromes in die Mündung der Pfeife kommt die in der Pfeifenröhre eingeschlossene Luft dadurch in Schwingung, dass sich an der Lippe (Schneide) in regelmäßiger Folge Luftwirbel ablösen. Der sich ergebende Ton hängt von der Länge der Luftsäule ab. Bei der geschlossenen Pfeife entspricht die Pfeifenlänge (gemessen von der Schneidenkante bis zum Boden) im Grundton einer Viertelwellenlänge. An der Schneide bildet sich ein Bauch und am Boden ein Knoten.

## 6. Schwingende Stäbe

- Einige Stäbe des Metallophons mit dem beigegebenen Anschlaghammer anschlagen.

Beim Anschlagen der Metallstäbe entstehen wohlklingende Töne ganz charakteristischer Klangfarbe. Je kürzer der Stab, desto höher der Ton.

Erklärung: Elastische Stäbe werden zu schwingungsfähigen Systemen, wenn sie an den Punkten ihrer Schwingungsknoten aufliegen (etwa 22% der Gesamtlänge von den Enden entfernt).

## 7. Infraschall

- Die Schreibstimmgabel durch gleichzeitiges Zusammendrücken beider Zinken und plötzliches Loslassen in Schwingung versetzen.

Die Stimmgabel führt langsame, mit dem Auge noch gut wahrnehmbare Schwingungen aus. Wird sie dicht ans Ohr gehalten, so vernimmt man einen sehr tiefen (gerade noch hörbaren) Ton.

Erklärung: Die Zinken der Stimmgabel schwingen gegenläufig hin und her und erzeugen in der umgebenden Luft Verdichtungen und Verdünnungen. Treffen diese auf das Ohr, so wird das Trommelfell in Mitschwingung versetzt. Man hört einen Ton.

Die Stimmgabel schwingt mit etwa 20 Schwingungen in der Sekunde hin und her. Der tiefste, gerade noch hörbare Ton hat etwa 16 Schwingungen in der Sekunde. Schwingungen unter 16 Hertz sind nicht mehr hörbar. Man bezeichnet sie als Infraschall (lat. infra = unterhalb).

## 8. Ultraschall

- Die Galtonpfeife anblasen.

Man vernimmt keinen Ton mehr sondern nur ein zischendes Geräusch.

Ergebnis: Wegen ihrer geringen Länge erzeugt die Galtonpfeife sehr hohe Töne, die für den Menschen nicht mehr hörbar sind. Man bezeichnet sie als Ultraschall (lat. ultra = über).

## 9. Die Schreibstimmgabel

- An den Zinken der Schreibstimmgabel den Schreibstift befestigen.
- Die Stimmgabel durch Zusammendrücken der Zinken in Schwingung versetzen und mit dem Schreibstift gleichmäßig über ein Blatt Papier auf einer nicht zu weichen Unterlage fahren.

Der Schreibstift zeichnet auf dem Papier eine wellenförmige Linie gleichbleibender Wellenlänge, aber abnehmender Amplitude auf.

Erklärung: Schall entsteht durch periodische Schwingung fester, flüssiger oder luftförmiger Körper. Der geometrische Ort der schwingenden Teilchen des Körpers in Abhängigkeit von der Zeit liegt auf einer Wellenlinie (Sinuslinie). Bei einmaligem Anstoß führen schwingende Körper eine "gedämpfte" Schwingung aus (stetige Abnahme der Amplitude). Erfolgt die Energiezufuhr dauernd (Dauerton einer Autohupe, dauernd angeblasene Orgelpfeife), so erhalten wir eine ungedämpfte Schwingung gleichbleibender Amplitude (= Lautstärke).

## 10. Fortschreitende Wellen

- Die Schlaufe des Wellenseils durch einfaches Verknoten an einer Türklinge befestigen.
- Das Seil mäßig straff spannen und mit der Hand eine ruckartige, seitliche Bewegung ausführen.

Vom Bewegungszentrum (Hand) ausgehend, löst sich eine Welle ab, die mit bestimmter Fortschrittggeschwindigkeit am Seil entlang läuft, am festen Ende reflektiert wird und wieder zum Ausgangspunkt zurückkehrt.

Erklärung: Jeder feste, flüssige und luftförmige Körper führt bei plötzlicher Erschütterung Schwingungen aus, die sich mit einer bestimmten Fortpflanzungsgeschwindigkeit im schwingenden Medium ausbreiten.

## 11. Dopplereffekt

- Die Leichtmetall-Stimmgabel (1700 Hz) kräftig mit dem Anschlaghammer des Metallophons anschlagen, sie kurze Zeit still halten und sie dann in der Luft rasch hin und her schwenken.

In ruhendem Zustand erzeugt die Stimmgabel einen kräftigen Ton gleichbleibender Höhe. In bewegtem Zustand ändert sich die Tonhöhe dauernd. Erfolgt die Bewegung auf das Ohr zu, so erhöht sich der Ton, erfolgt sie vom Ohr weg, so erniedrigt er sich.

Erklärung: Durch den sich verringern den Abstand der Schallquelle vom Ohr verkürzt sich der zeitliche Abstand zweier Verdichtungen, da die 2. Verdichtung einen kürzeren Weg zum Ohr hat als die erste. Das Ohr nimmt eine höhere Frequenz wahr. Der Ton wird höher. Bei der Entfernung der Schallquelle vom Ohr werden die zeitlichen Abstände zwischen den Verdichtungen und Verdünnungen verlängert. Der Ton wird tiefer.

## 12. Chladni'sche Klangfiguren

- Die Chladni-Platte mittels Tischklemme und Kunststoffklotz am Arbeitstisch befestigen. Die Platte mit Vogelsand oder ähnlichem bestreuen, so dass dieser in dünner Schicht ein Drittel der Platte bedeckt.
- Die Platte nun mit einem gut kollophonierten Geigenbogen genau in der Mitte zwischen zwei Ecken anstreichen unter gleichzeitiger, leichter Berührung einer Ecke mit dem Finger der anderen Hand.
- Platte mehrmals kräftig anstreichen, so dass sie in lebhaftes, gut hörbares Schwingungsgerät.

Beim Anstreichen der Platte vernimmt man einen ganz bestimmten akustischen Ton. Die Sandkörner geraten an manchen Stellen in lebhaftes Mitschwingen, tanzen auf der Plattenoberfläche auf und nieder und lagern sich in eigenartigen Klangfiguren auf der Oberfläche ab.

Erklärung: Auf der Platte bilden sich "stehende Wellen" aus. Die Platte schwingt beim Anstreichen nicht einfach als Ganzes auf und nieder sondern

gerät an bestimmten Stellen (den Bäuchen) in Schwingung, während sie an anderen Stellen (den Knoten) völlig ruht. Durch Berührung der Platte an einer Ecke wurde an dieser Stelle ein Knoten erzwungen.

## 13. Glockenschwingungen

- Die Glockenschale mit der Öffnung nach oben mittels Tischklemme und Kunststoffklotz am Arbeitstisch befestigen.
- Den Rand der Glocke an verschiedenen Stellen mit dem Anschlaghammer anschlagen (alternativ mit dem Geigenbogen anstreichen).

Die Tonhöhe hängt von der Anschlagstelle ab. Es ist ohne weiteres möglich Unterschiede von einem ganzen Ton zu erhalten. Wird die Glocke an bestimmten Stellen angeschlagen, so werden beide Töne angeregt und man erhält die bekannten „Schwebungen“ (periodisches An- und Abschwollen der Lautstärke in mehr oder weniger rascher Folge).

Erklärung: Glocken sind verformte schwingende Platten. Die Obertöne sind meist nicht harmonisch zum Grundton. Auch Glocken teilen sich durch Knotenlinien in einzelne schwingende Abteilungen.

## 14. Stehende Wellen

- Die Schlaufe des Wellenseils durch einfaches Verknoten an einer Türklinge befestigen.
- Das Seil mäßig straff spannen und mit der Hand langsame, kreisförmige Bewegungen durchführen.
- Dann das Seil straffer spannen und die Kreisbewegungen schneller werden lassen.

Bei langsamer Bewegung entstehen an den Enden des Seils jeweils Knoten und in der Mitte ein Bauch. Bei schnellerer Bewegung entstehen 3 Knoten und 2 Bäuche und bei noch schnellerer Bewegung 4 Knoten und 3 Bäuche.

Erklärung: Durch die Reflexion an der Tür bilden sich stehende Wellen aus. Wegen der Trägheit des Auges sieht man die ursprüngliche und die reflektierte Welle scheinbar gleichzeitig.

In der Grundschiwingung schwingt das Seil in seiner ganzen Länge in Form einer Halbwelle auf und nieder. In der Mitte ist ein Bauch, an beiden Enden sind Knoten. In der 1. Oberschiwingung (Oktave) schwingt das Seil in Form einer ganzen Welle (2 Bäuche und 3 Knoten). In der 2. Oberschiwingung haben wir 3 Bäuche und 4 Knoten usw.

## 15. Obertöne

- Die Lippenpfeife mit dem Mund zuerst schwach und dann sehr stark anblasen.

Man vernimmt zuerst den Grundton und bei stärkerem Anblasen einen wesentlich höheren Ton.

Erklärung: Bei der gedackten Pfeife müssen sich stehende Wellen stets in der Weise ausbilden, dass sich am Boden ein Knoten und an der Schneide ein Bauch befindet. Dies ist der Fall, wenn die Länge der Pfeife genau  $\frac{1}{4}$  Wellenlänge entspricht. Es ist aber auch der Fall, wenn die Entfernung der Öffnung vom Boden  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{5}{4}$ ,  $\frac{7}{4}$  usw. der Wellenlängen beträgt.

Neben dem Grundton entstehen also auch sämtliche ungeradzahigen Obertöne der harmonischen Tonreihe in mehr oder weniger starkem Maße.

Nur dem mehr oder weniger starken Auftreten von Obertönen ist es zuzuschreiben (und zu verdanken), dass jedes Musikinstrument eine ganz charakteristische Klangfarbe hat.

## 16. Messung der Wellenlänge

- Das Ende der genau 45 cm langen Kundt'schen Röhre mit der Gummikappe verschließen und mit einem Teelöffel eine kleine Menge Lycopodiumpulver in die schräg gehaltene Röhre füllen, so dass sich eine nicht zu große Menge, gleichmäßig verteilt, als feines gelbes Band in der Röhre befindet.
- Glasrohr mittels Halteklammer, Tischklemme und Plastikklötzchen am Arbeitstisch befestigen.
- Die Stimmgabel (1700 Hz) an einem Hammerstiel sehr kräftig anschlagen und einen Zinken breitseits dicht vor die Rohröffnung halten. Diese Schallanregung eventuell mehrmals wiederholen!

Das Lycopodiumpulver kommt an den Schwingungsbäuchen in lebhaftere Mitschwingung, während es an den Knoten völlig in Ruhe bleibt. Die Pulverteilchen fallen auf den Grund des Rohres und bilden dort periodische Anhäufungen, die sich längs der Rohrachse  $4 \frac{1}{2}$  Mal wiederholen.

Erklärung: Die Leichtmetall-Stimmgabel hat eine Frequenz von 1700 Schwingungen in der Sekunde. Nach der einfachen Beziehung

---

beträgt die zugehörige Wellenlänge 20 cm. In eine: Röhre von 45 cm Länge "passen" also  $4 \frac{1}{2}$  Halbwellen oder 2 volle und eine Viertelwellenlänge, wie der Versuch es zeigte. An der Öffnung der Röhre ist immer ein Bauch, am Boden immer ein Knoten.

## 17. Der Resonanzboden

- Die Stimmgabel  $a' = 440$  Hertz kräftig mit dem Anschlaghammer des Metallophons anschlagen und mit ihrem Stiel auf die Tischplatte stellen.

Der in freier Luft kaum hörbare Ton der Stimmgabel wird durch das Aufstellen auf die Tischplatte so sehr verstärkt, dass er nunmehr im ganzen Raum deutlich vernehmbar ist.

Erklärung: Durch den auf- und abschwingenden Stiel der Stimmgabel wird die Tischplatte in Mitschwingung versetzt. Da die wirksame Tischfläche wesentlich größer ist als die der Stimmgabel, wird die Lautstärke des Tons erheblich verstärkt.

## 18. Der Resonanzkasten

- Die Stimmgabel  $a' = 440$  Hertz kräftig anschlagen und mit ihrem Stiel auf den Resonanzkasten des Monochords stellen.

Es tritt eine bedeutende Verstärkung des Tons ein.

Erklärung: Wie bei Versuch 17.

## 19. Der Kugelresonator

- Die Helmholtz-Resonatoren der Reihe nach mit der kleinen Spitze ans Ohr halten.

Man vernimmt einen Ton, der umso tiefer ist je größer der Durchmesser des Resonators ist.

Erklärung: Jeder gleichwie gestaltete Hohlraum (Röhre, Hohlkugel) hat eine ganz bestimmte, nahezu obertonfreie Grundschiwingung Diese Grundschiwingung kann man erregen, wenn der Hohlraum an seiner Öffnung angeblasen oder auch nur mit dem Fingerknöchel gegen den Hohlraum geklopft wird. Die Eigenschwiwingung wird aber auch in erster Linie dann erregt, wenn im umgebenden Lärm Töne enthalten sind, die mit der Grundschiwingung des Resonators übereinstimmen. So kann man mit dem Kugelresonator ein Klanggemisch auf seinen Gehalt an Teiltönen prüfen. Herrscht in einem Raum absolute Stille, so bleibt der Resonator stumm.

## 20. Die Saiteninstrumente und ihre Gesetze

- Den Quersteg hochkant unter die Saite des Monochords schieben so dass die rechte Kante genau mit der Zahl 20 der Maßskala zusammenfällt und die 40 cm lange Saite in zwei gleich lange Abschnitte von je 20 cm Länge unterteilt wird.
- Die halbe Saitenlänge durch Anziehen des Wirbels auf die Stimmgabel (440 Hz)  $a'$  (Kammerton) abstimmen.
- Durch Anzupfen oder besser Anstreichen der Saite die Tonhöhen bei 40 cm, 20 cm, 10 cm und 5 cm Saitenlänge vergleichen.

Bei 20 cm Saitenlänge erhält man den Kammerton  $a' = 440$  Hertz, bei 40 cm Saitenlänge den um eine Oktave tieferen Ton  $a = 220$  Hertz, bei 10 cm Saitenlänge den um eine Oktave höheren Ton  $a'' = 880$  Hertz und bei 5 cm Saitenlänge den um 2 Oktaven höheren Ton  $a''' = 1760$  Hertz.

Erklärung: Bei der doppelten Saitenlänge erhält man einen um eine Oktave tieferen Ton, bei der halben Saitenlänge die 1. und bei  $\frac{1}{4}$  Saitenlänge die 2. Oktave. Die Frequenzen von Saiten verhalten sich umgekehrt wie ihre Längen.

## 21. Die Tonleiter auf den Saiteninstrumenten

- Auf dem Monochord durch Verschieben des Quersteges die dem menschlichen Ohr eingeprägte Tonleiter spielen und jeweils die Längen des schwingenden Saitenstückes und das Verhältnis des schwingenden Saitenstückes zur Gesamtlänge der Saite (40 cm) ermitteln.

Ton	Saitenlänge	Längenverhältnis
c	40 cm	1
d	35,55 cm	8/9
e	32 cm	4/5
f	30 cm	3/4
g	26,66 cm	2/3
a	24 cm	3/5
h	21,33 cm	8/15
c'	20 cm	1/2

Erklärung: Die Saite muss halb so lang sein, wenn, unter sonst gleichen Bedingungen wie Saitenspannung, Saitendicke usw., die Oktave erreicht werden soll. Bei den übrigen Tönen der Tonleiter ergeben sich für das Verhältnis der schwingenden Saitenlängen zur ganzen Saitenlänge einfachste Verhältniszahlen. Je kleiner diese Zahlen sind, desto besser ist der Wohlklang. (Oktave 1:2, Quinte c/g 2:3 usw.)

## 22. Messung der Saitenspannung

- Die Federwaage auf das Monochord aufstecken und das Ende der Perlonsaite in den Schlitz der Federwaage einhängen.
- Durch Anziehen des Wirbels die Saite unter Verwendung der Stimmgabel a' = 440 Hertz auf den Kammerton abstimmen.
- Mit der Federwaage die Saitenspannung bestimmen.

Die Saitenspannung beträgt bei der Perlonsaite 5,5 kg.

## 23. Abhängigkeit der Tonhöhe von der Saitenspannung

Ein Ergebnis von Versuch 22 war, dass, um den Kammerton zu erhalten, die Perlonsaite mit 5,5 kg gespannt werden muss. Wie hoch ist die Saitenspannung bei dem um eine Oktave tiefer liegenden Ton a (220 Hertz)?

- Den Wirbel lockern, bis der Ton a ertönt.
- Zur Kontrolle den Quersteg unter die Maßzahl 20 (halbe Saitenlänge) setzen und die

halbe Saitenlänge wieder auf den Kammerton abstimmen. Die ganze Saite schwingt dann mit der halben Frequenz.

Die Saitenspannung geht auf 1,4 kg zurück.

Erklärung: Die Frequenz einer Saite ist proportional zur Quadratwurzel aus dem spannenden Gewicht. Wenn die Kraft, welche die Saite spannt, 4x, 9x, 16x so groß ist, erhöht sich die Frequenz um das 2-, 3- und 4-fache.  $1/4$  von 5,5 ist (rund) 1,4, wie gemessen wurde.

## 24. Blasinstrumente und ihre Gesetze

- Die Lippenpfeife mit dem Mund anblasen und durch mehr oder weniger starkes Ausziehen des Bodens die wirksame Länge der Pfeife verändern.

Bei kleiner Pfeifenlänge erhält man hohe, bei großer tiefere Töne.

Erklärung: Beim Einblasen eines schwachen Luftstromes bilden sich stehende Wellen aus, wobei die Pfeifenlänge einer Viertelwellenlänge entspricht. Beim Einblasen eines stärkeren Luftstromes entstehen Obertöne, deren Frequenz ein ungeradzahliges Vielfaches des Grundtones ist.

Bei der offenen Pfeife ist die Grundschiwingung doppelt so groß wie bei der geschlossenen.

## 25. Die C-Dur-Tonleiter und ihre Intervalle

- Zur Bestimmung der Intervalle wird jeweils die höhere Frequenz durch die nächst niedrigere geteilt.

Für das Intervall d/c = 1188/1056 ist der gemeinsame Teiler 132 man erhält also 9/8, 10/9, 16/15, 9/8, 10/9, 9/8 und 16/15.

Erklärung: Die Intervalle (Zwischenräume) der einzelnen Töne der Tonleiter sind nicht gleich groß. Man unterscheidet große ganze (9/8), kleine ganze (10/9) und halbe Tonschritte (16/15).

## 26. Wohlklang und Missklang

- Auf der Zungenpfeife die verschiedensten Zusammenklänge anblasen.

Ausgesprochene Wohlklänge (Konsonanzen) erhält man bei der Oktave, der Quinte, der Quarte, der großen und kleinen Terz. Missklänge (Dissonanzen) sind die Sekunde und die Septime, sowie der Zusammenklang unmittelbar nebeneinander liegender Töne.

## 27. Der G-Dur-Dreiklang

- Auf der Zungenpfeife die Töne g, e und d gleichzeitig anblasen.

Man vernimmt einen besonders wohlklingenden Zusammenklang, den man als den G-Dur-Dreiklang bezeichnet.

Erklärung: Sollen mehrere Töne einen wohlklingenden Zusammenklang, eine Konsonanz, bilden, so müssen sie es paarweise tun. Der G-Dur-Dreiklang setzt sich aus der großen Terz und der kleinen Terz zusammen. Die Frequenzen der Töne g, h, d stehen untereinander in einem besonders einfachen Verhältnis und zwar 4:5:6.

Um dieses Zahlenverhältnis zu erhalten, müssen die auf der Zungenpfeife angegebenen Grundfrequenzen jeweils durch 6 geteilt werden. (Um die physikalisch korrekten Frequenzen zu erhalten, müssen die aufgedruckten Grundfrequenzen mit 33 multipliziert werden).

Zwischen Zungenpfeife und Metallophon kann zudem fertigungsbedingt eine Abweichung der Stimmung hörbar sein.

## 28. Der vierstimmige G-Dur-Dreiklang

- Den G-Dur-Dreiklang durch die Oktave g' ergänzen. Also gleichzeitig g, h, d', g' spielen.

Man erhält den besonders vollen und wohlklingenden "vierstimmigen G-Dur-Dreiklang".

Erklärung: Im vierstimmigen Dreiklang sind folgende Konsonanzen enthalten:

Die Oktave	1:2
Die Quinte	2:3
Die große Terz	4:5
Die kleine Terz	5:6

## 29. Die Dur-Tonleiter mit beliebigem Grundton

- Auf dem Metallophon zuerst die C-Dur-Tonleiter, beginnend mit c, anschließend die G-Dur-Tonleiter, beginnend mit g, spielen.

Die C-Dur-Tonleiter von c' bis c'' erklingt klar. Bei der mit g' beginnenden G-Dur-Tonleiter tritt bei f'' ein schwerer Fehler auf. Der Ton ist um einen halben Tonschritt zu tief.

Erklärung: Nach Versuch 25 müssen bei jeder Tonleiter folgende Intervalle auftreten:

9/8, 10/9 16/15, 9/8, 10/9, 9/8, 16/15.

Bei der Tonfolge g'...g'' stehen auf der Grundplatte des Metallophons aber folgende Intervalle:

10/9, 9/8, 16/15, 9/8, 10/9, 16/15, 9/8

Die unterstrichenen Intervalle sind richtig, die übrigen mehr oder weniger falsch.

Die Intervalle 9/8 und 10/9 liegen einander aber so nahe, dass sie nur schwer voneinander zu unterscheiden sind, daher ist der Fehler von g' bis h' belanglos. Schwerwiegend dagegen ist der Fehler zwischen e'' und f''. Hier beträgt das Intervall 16/15, während es in Wirklichkeit 9/8 betragen sollte. Man hört daher f'' um einen halben Ton zu tief.

## 30. Einschaltung der Halbtonschritte

- Auf der Zungenpfeife die Tonleiter von g' bis g'' spielen, nachdem vorher sicher gestellt wurde, dass der Ton a' der Zungenpfeife tatsächlich auf den Kammerton abgestimmt ist. Dazu Stimmgabel anschlagen und vergleichen.

Auf der Zungenpfeife ertönt die G-Dur-Tonleiter völlig klar.

Erklärung: Anstelle des Tones f' ist ein neuer Ton, das fis' eingeschaltet, der so berechnet ist, dass das Intervall zwischen e' und fis' 9/8 und das zwischen fis' und g' 16/15 beträgt. Dies geschieht dadurch, dass man die Frequenz des f durch Multiplikation mit 25/24 erhöht.

Die durch Erhöhung der Töne hervorgerufenen neuen Töne heißen: cis, dis, eis, fis, gis, ais, his.

Die Erhöhung wird in der Notenschrift durch ein vorgesetztes Kreuz bezeichnet.

Die um einen halben Ton niedrigeren Töne erhält man durch Multiplikation des höheren Tones mit 24/25. Diese Töne werden in der Notenschrift durch ein vorgesetztes b gekennzeichnet. Sie heißen: ces, des, es, fes, ges, as, b.

Mit nur geringen Fehlern werden auf dem Klavier die Töne cis und des usw. einander gleichgesetzt.