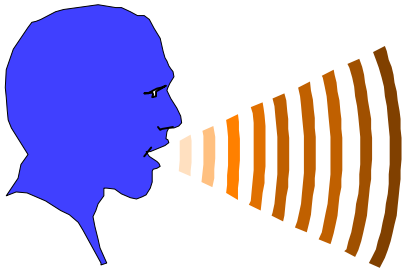
Physik & Musik



8

Klangfiguren

1 Auftrag

Klangfiguren

Bearbeitungszeit: 30 Minuten
Sozialform: Einzel- oder Partnerarbeit

Einleitung

In diesem Posten können Sie auf eindrückliche Art und Weise die komplexen Schwingungen eines simplen Stücks Aluminium beobachten. Dabei werden Sie wunderbare Figuren mit Streusand herstellen. Und das Beste ist, dass die Figuren ohne direkte Mitwirkung Ihrerseits entstehen. Lassen Sie sich also überraschen von den vielfältigen Sandgestalten.

Das ganze funktioniert so: Sie haben einen „Rüttelapparat“ zur Verfügung, einen mechanischen Oszillator. Eigentlich ist dieser Apparat nicht anderes als ein ***Lautsprecher***. Ein Lautsprecher erzeugt ja Töne, indem eine Oberfläche sehr schnell hin- und herbewegt wird. Der Oszillator wird an einem Schwingungserzeuger angeschlossen, dem ***Funktionsgenerator***. Dieser erzeugt die nötigen elektrischen Signale, die den Lautsprecher in Gang setzen.

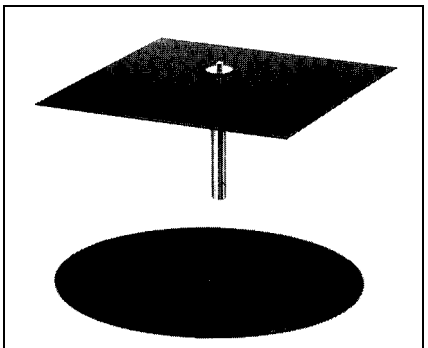


Abbildung 1: Scheiben (Phywe 111)

Auf den Rüttelapparat können Sie eine ***Metallplatte*** stekken. Dazu befestigen Sie den Stecker in der Mitte der Scheibe in der entsprechenden Halterung im Lautsprecher. Sie haben eine runde und eine quadratische Metallplatte zur Verfügung (Abbildung 1). Die Metallplatte wird vom Lautsprecher auf und ab bewegt. Auf diese Scheibe streuen Sie etwas Quarzsand. Die Scheibe sollte mehr oder weniger mit Sand bedeckt sein. Achten Sie darauf, dass Sie den Rüttelapparat im dafür vorgesehenen Behälter haben. So können Sie den hinuntergeworfenen Sand wieder zusammennehmen. Wenn Sie den Apparat laufen lassen, entstehen so die merkwürdigen Figuren, die „***Chladnische Klangfiguren***“ genannt werden, weil sie von Chladni entdeckt wurden. (Abbildung 2)

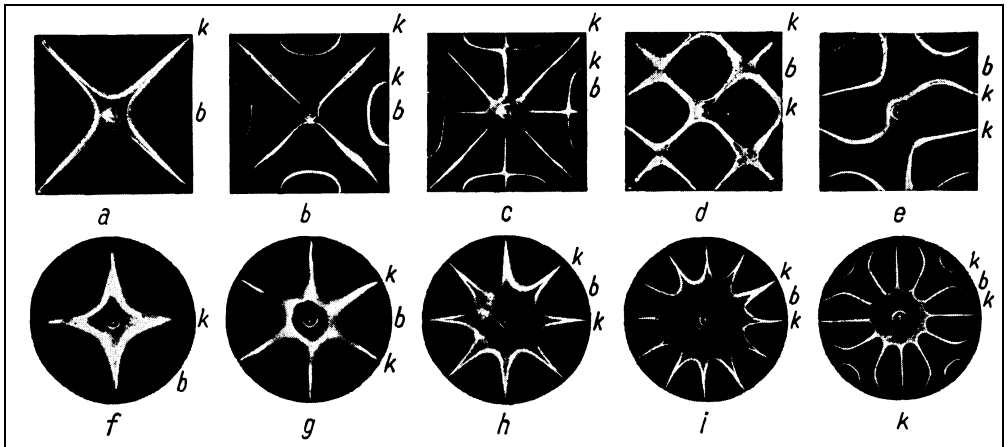


Abbildung 2: Chladnische Klangfiguren (Bergmann Schäffer 527)

Arbeitsauftrag

1. Sie lesen den Abschnitt „Der Funktionsgenerator“. Danach sollten Sie in der Lage sein, dieses Gerät zu bedienen. Falls Sie sowieso wissen, wie man einen Funktionsgenerator bedient, können Sie diese Aufgabe weglassen.

2. Sie suchen 5 verschiedene Klangfiguren mit der viereckigen Platte. Sie zeichnen diese jeweils in das Arbeitsblatt. Bei jeder Figur geben Sie die zugehörige Frequenz an. Lassen Sie Ihrer Geduld den Vortritt. Nehmen Sie nicht die ersten 5 Figuren, die Sie finden. Gehen Sie zuerst den ganzen Frequenzbereich durch. Erst dann wählen Sie 5 Figuren aus. So finden Sie merkwürdigere und interessantere Figuren. (Funktion: Sinus)

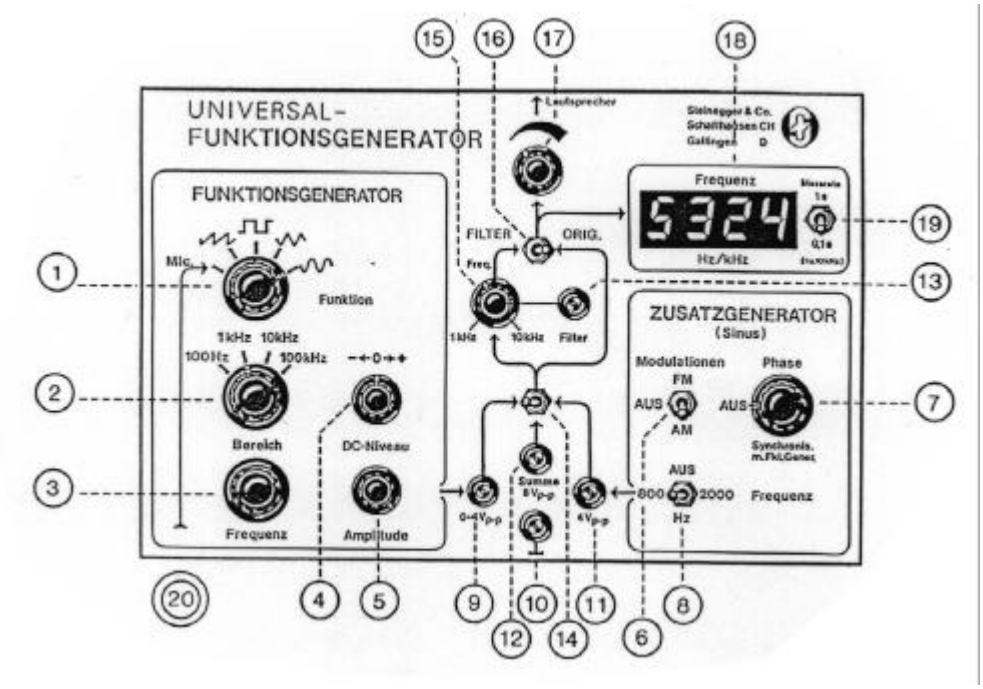
3. Wie 2, aber mit der runden Platte. Sie verwenden ebenfalls eine Sinus-Funktion.

4. Lesen Sie den Abschnitt „Wie entstehen die Klangfiguren?“. Wir erwarten, dass Sie verstehen, wie diese Figuren entstehen. Sie wissen, warum die Figuren nur bei speziellen Frequenzen auftreten. Sie beantworten auf dem Arbeitsblatt in wenigen Worten die Frage auf der letzten Zeile des Abschnittes. Die Antwort können Sie anhand Ihrer Beobachtungen in 2. und 3. herausfinden. Wir erwarten eine korrekte Antwort.

5. Untersuchen Sie den Einfluss der Funktionsart (Dreieck, Rechteck, „Sägezahn“). Dazu versuchen Sie, einige der in 2. und 3. erstellten Figuren mit allen anderen Funktionen erneut herzustellen. Die Frequenzen haben Sie sich ja notiert. Dann stellen Sie selbständig eine Theorie auf, die Ihre Beobachtungen erklären kann. Diese tragen Sie auf das Arbeitsblatt ein. Sie müssen keinen Aufsatz schreiben. Es genügen 4-5 Sätze, die den Sachverhalt aus Ihrer Sicht klar darlegen. Um diesen Posten erfolgreich zu erfüllen, erwarten wir nicht, dass Sie die vollständig korrekte Erklärung haben. Sie sollte aber logisch nachvollziehbar sein.

Kurzanleitung für den Funktionsgenerator

Universal-Funktionsgenerator von Steinegger & Co.



Mit dem Funktionsgenerator können Sie die Frequenz (Repetierrate) und die Amplitude (Stärke) der Schwingungen einstellen. Die Frequenz gibt an, wie oft pro Sekunde sich die Lautsprechermembrane bewegt. Die Frequenz wird in Hertz [Hz] gemessen. 1 Hz entspricht 1 Schwingung pro Sekunde.

1. Der Schalter „***Funktion***“ stellt die Art der erzeugten Schwingung ein. Sie brauchen für diesen Versuch eine Sinusschwingung, d.h. Sie drehen den Schalter im Uhrzeigersinn bis an den Anschlag.

2. Mit dem Drehknopf „***Bereich***“ können Sie die Frequenz grob einstellen. Beachten Sie, 1 kHz sind 1000 Hz. Für diesen Versuch stellen Sie den Schalter am besten auf 1 kHz.

3. Mit dem Drehknopf „***Frequenz***“ können Sie die Feineinstellung vornehmen. Mit ihm können Sie alle Frequenzen im eingestellten Bereich quasi lückenlos durchlaufen.

4. Der Schalter „***DC-Niveau***“ sollte auf 0 sein.

5. „***Amplitude***“ stellen Sie auf Maximum . Dazu drehen Sie ihn im Uhrzeigersinn bis zum Anschlag. Dieser Regler stellt die Stärke der Schwingungen ein. (Feineinstellung)

6. „***Lautsprecher***“ stellt ebenfalls die Stärke ein. Um genügend Leistung für die Erzeugung der stehenden Wellen zu haben, sollten Sie den Regler auf ca. 3/4 einstellen.

7. Zum Einschalten drücken Sie den runden, roten Schalter hinten am Gehäuse.

Wie entstehen die Klangfiguren? Was bedeuten sie?

Man kann die Platte langsam schwingen lassen, z.B. mit einer Frequenz von 10 Hz. Dann vibriert die gesamte Scheibe mit all Ihren Atomen auf gleicher Höhe. Die Platte bleibt praktisch steif. Die Kräfte sind so klein, dass fast keine Verbiegungen auftreten. Zentrum und Rand der Platte befinden sich auf gleicher Höhe.

Jetzt kann man die Frequenz bis zu einem gewissen Wert erhöhen. Die Platte ist aus einem Material, das sich bei genügender Belastung biegen lässt. Die Scheibe kann also etwas nachgeben, wenn sie belastet wird. Der Befestigungspunkt in der Mitte bewegt sich nun so schnell hin und her, dass ihm die äusseren Teile der Platte nicht mehr folgen können. Die Platte verbiegt sich also von innen nach aussen. Wenn z.B. die Mitte gerade zuoberst angelangt ist, so ist der Rand der Platte immer noch unten (Abbildung 3). Die Platte erscheint also in diesem Augenblick „verbogen“. In der Platte ist eine Spannung vorhanden. Der Rand der Platte wird daher nach oben schnellen. In der Zwischenzeit ist das Zentrum der Platte aber schon wieder unten (falls die Frequenz des Oszillators richtig eingestellt ist). Wieder ist eine Spannung vorhanden. Jetzt ist aber der Rand oben, die Mitte unten. Der Rand schnellt nach unten, die Mitte in der Zwischenzeit nach oben. Und so weiter. Rand und Zentrum schwingen also im gleichen Takt, aber in entgegengesetzter Richtung. Eine solche Schwingung der Platte heisst „***Eigenschwingung***“ oder „***Resonanz***“. Bei dieser Art Schwingung verändern die Atome der Platte ihre Position zueinander. Es handelt sich nicht bloss um das steife Auf- und Abhüpfen der Platte. Die Platte selbst wird bei der Eigenschwingung in Spannung versetzt. Es handelt sich um eine innere Schwingung der Platte.

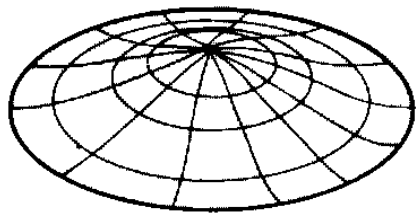


Abbildung 3: 1. Eigenschwingung einer runden Scheibe (Sexl Raab, 38)

Vielleicht können Sie sich vorstellen, dass zwischen Rand und Zentrum der Platte ein Bereich ist, der sich kaum bewegt. Wenigstens im Vergleich zum Zentrum oder zum Rand der Platte ist es dort ruhig: darum bleibt der Sand längs dieser sog. „***Knotenlinie***“ liegen. An den übrigen Stellen der Platte wird er weggeschüttelt. Überall wo Sand ist, ist die Platte also praktisch in Ruhe. Dort, wo kein Sand liegt, schwingt die Platte. Wie Sie an den verschiedenen Sandfiguren erkennen, gibt es nicht nur die oben beschriebene Eigenschwingung, sondern auch eine Vielzahl anderer Eigenschwingungen (Abbildung 4).

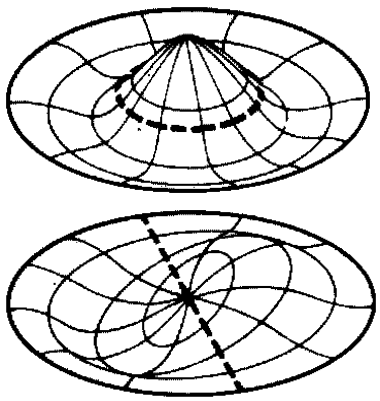


Abbildung 4: Höhere Eigenschwingungen einer runden Platte (Sexl, Raab, 38)

Die Eigenschwingungen und damit die Chladnischen Figuren treten nur bei ganz speziellen Frequenzen, den ***Eigenfrequenzen*** auf. Zu jeder Ei-

genschwingung gehört eine andere Eigenfrequenz. Regt man die Scheibe mit einer Frequenz an, die keine Eigenfrequenz ist, die z.B. tiefer ist als die tiefste Eigenfrequenz, so kann man sich fragen, weshalb in diesem Fall keine Eigenschwingung eintritt. Die Frequenz mag wohl so gross sein, dass sich das Zentrum der Platte so schnell bewegt, dass sich der Rand der Platte zu verbiegen beginnt. Aber die Verbiegung ist nicht gross genug, um sich gemäss obiger Erklärung der Eigenschwingung zu einer ausgewachsenen Schwingung aufzuschaukeln: Der Oszillator bewegt sich auf, kehrt, bewegt sich wieder hinunter, kehrt wieder usw. Die Auslenkung des Randes relativ zum Zentrum erfolgt grösstenteils an den Umkehrpunkten, wo die Beschleunigung am grössten ist, weil dort der Oszillator die Richtung wechselt. Aber das Zentrum bewegt sich nur so langsam, dass bis zum nächsten Umkehrpunkt, wo die nächste starke Anregung erfolgt, die Schwingung schon wieder allen Schwung verloren hat und ausgeklungen ist. Ist die gewählte Frequenz schneller als z.B. die tiefste Eigenfrequenz, so verhält es sich analog.

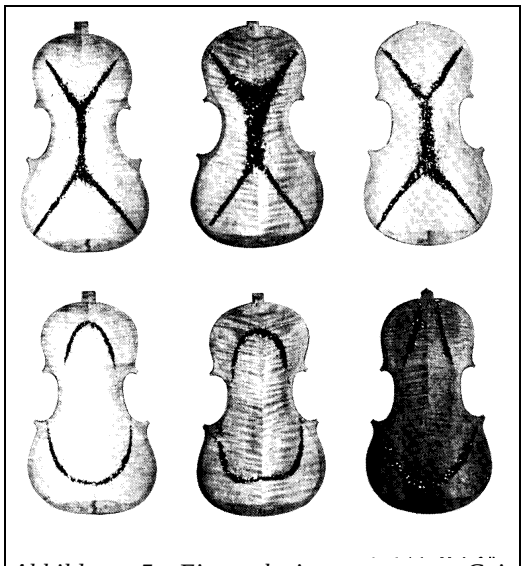


Abbildung 5: Eigenschwingungen von Geigenböden. Anhand der Eigenschwingungen kann man einen schlechten Geigenboden von einem guten sofort unterscheiden. (Physik der Musikinstrumente 95)

Vielleicht haben Sie bei Ihren Beobachtungen festgestellt, dass der vom Oszillator erzeugte Ton bei den Eigenfrequenzen wesentlich an Lautstärke gewann. Die Schwingung der Platte ist folglich auch stärker. Es hat zwar ruhende Stellen auf der Platte. Die schwingenden Orte bewegen sich aber um so intensiver. Hinzu kommt: Bei Eigenfrequenz schwingt die Platte sehr stark in sich; das macht sie neben einer Eigenfrequenz nicht. Deshalb ist es sowieso verständlich, dass die Eigenfrequenzen sehr laut aus den übrigen Frequenzen hervortreten.

Wovon hängen die Eigenfrequenzen einer Platte ab? Eine wichtige Rolle spielt die ***Steifheit***, resp. die Biegbarkeit des Materials. Diese wird durch die Bindungsstärke der einzelnen Atome der Platte bestimmt. Je mehr Kraft man aufwenden muss, um die Platte verbiegen zu können, desto höher werden die Eigenfrequenzen, weil dann eventuelle Verbiegungen schneller wieder rückgängig gemacht werden. Auslenkungen des Randes werden aber bei steifen Materialien durch das Zittern weniger erzeugt. Die Eigenfrequenzen eines Objektes sind also durch dessen Elastizität bestimmt. Gibt es noch einen anderen Faktor, der grossen Einfluss auf die Eigenfrequenzen hat?

Arbeitsblatt

2. Skizzieren Sie 5 Klangfiguren mit der viereckigen Platte

Hz	Hz	Hz	Hz	Hz

3. Skizzieren Sie 5 Klangfiguren mit der runden Platte

Hz	Hz	Hz	Hz	Hz

4. Die Steifheit des Materials beeinflusst die Eigenfrequenzen. Welche andere Eigenschaft beeinflusst die Eigenfrequenzen ebenfalls?

_____

5. Ihre Erklärung für den Einfluss der Funktionsart:

_____

_____

_____

_____

_____

Materialliste

- Funktionsgenerator mit genügend Leistung um Lautsprecher anzusteuern, (Universal-Funktionsgenerator von Steinegger & Co.)
- Lautsprecher, auf den die Platten montiert werden können,
- Quarzsand.
- 1 runde Scheibe zum Aufstecken auf den Lautsprecher und
- 1 quadratische Scheibe zum Aufstecken auf den Lautsprecher.