

Station 1

Analyse des Schwingungsverhaltens eines Weinglases

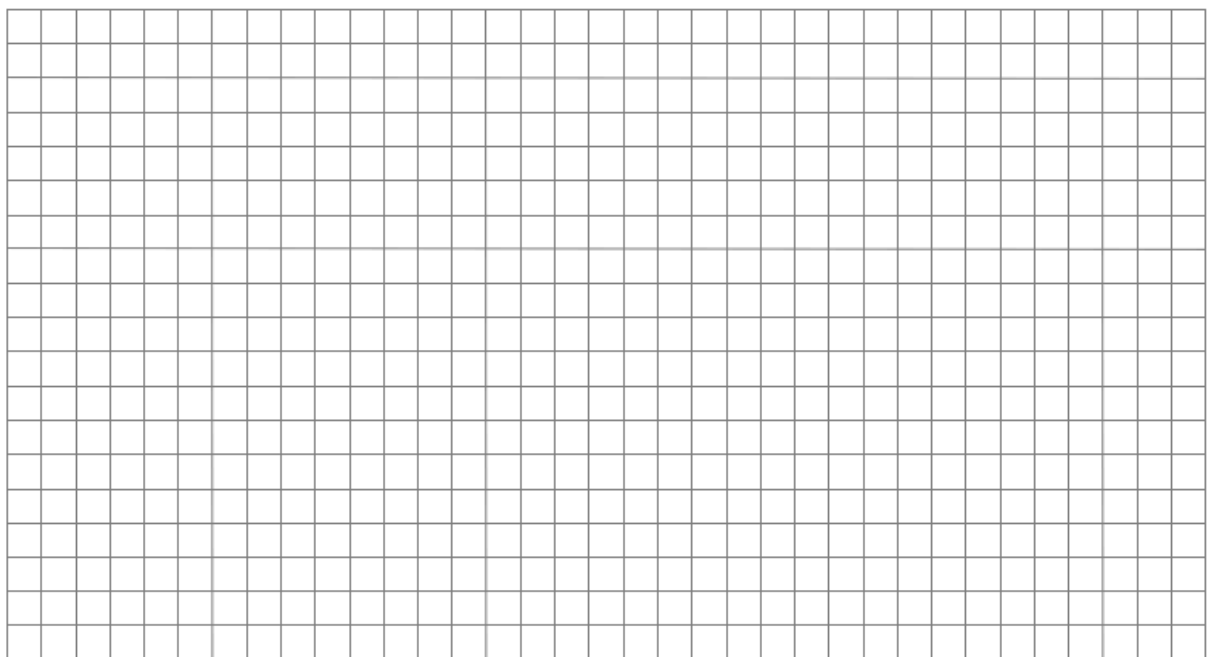
Material

Weinglas, Computer mit entsprechender Audiosoftware, Kurzanleitung der Software

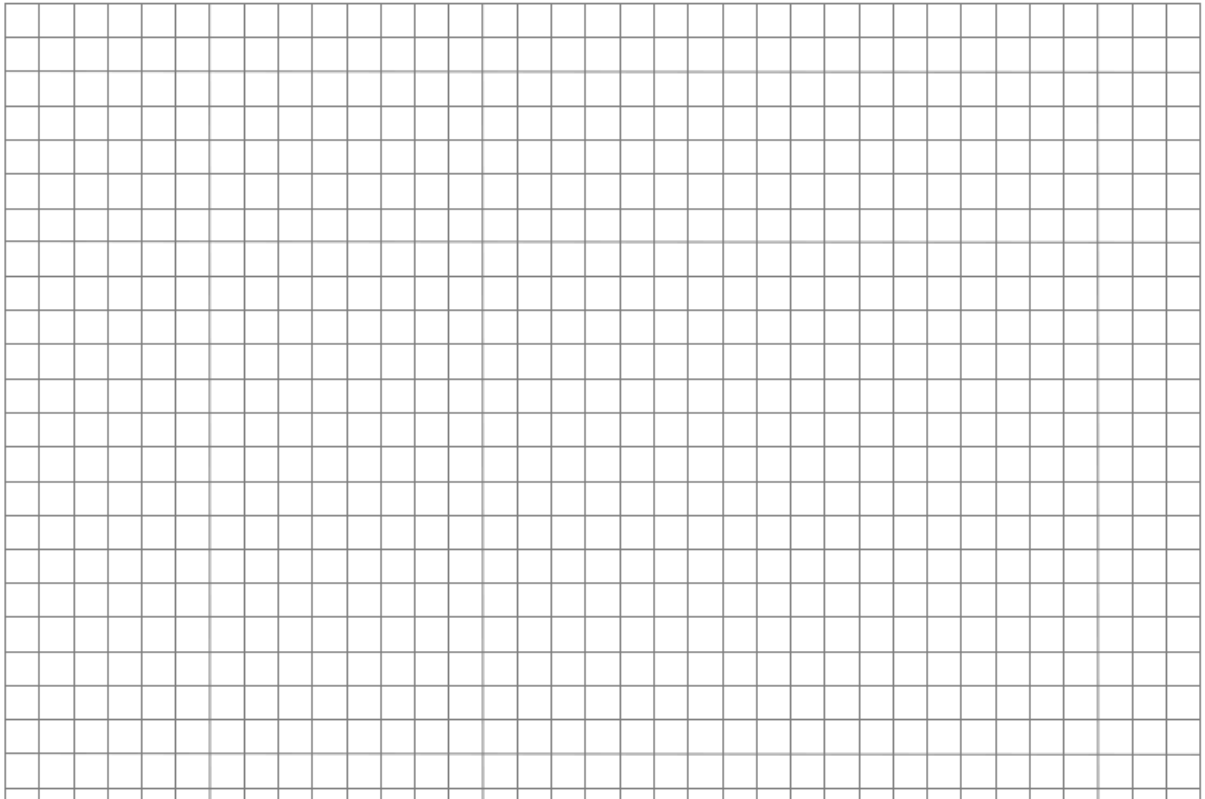
Durchführung

- 1) Versetzen Sie das Weinglas an mehreren Stellen in Schwingung. Beschreiben Sie den hierdurch erzeugten Klang.

- 2) Nehmen Sie den Klang des Glases mit Hilfe der Audiosoftware auf. Hierzu genügt die Verwendung des im Computer eingebauten Mikrofons. Skizzieren Sie das Schwingungsverhalten des Klanges über die Zeit und bestimmen Sie die Frequenz der Schwebung.



3) Erstellen und skizzieren Sie das Frequenzspektrum des Klangs.



4) Entnehmen Sie dem Spektrum die Eigenfrequenzen des Weinglases.

5) In der Theorie ergeben sich die entsprechenden Eigenfrequenzen mit Hilfe der Formeln

$$f_0 = \frac{v_s \cdot d}{\sqrt{3\pi r^2}} \quad \text{beziehungsweise} \quad f_n = \frac{n+2}{2} \cdot f_0 \quad (n \in \mathbb{N})$$

Bestimmen Sie die theoretischen Eigenfrequenzen und vergleichen Sie diese mit den gemessenen Werten.

Station 2

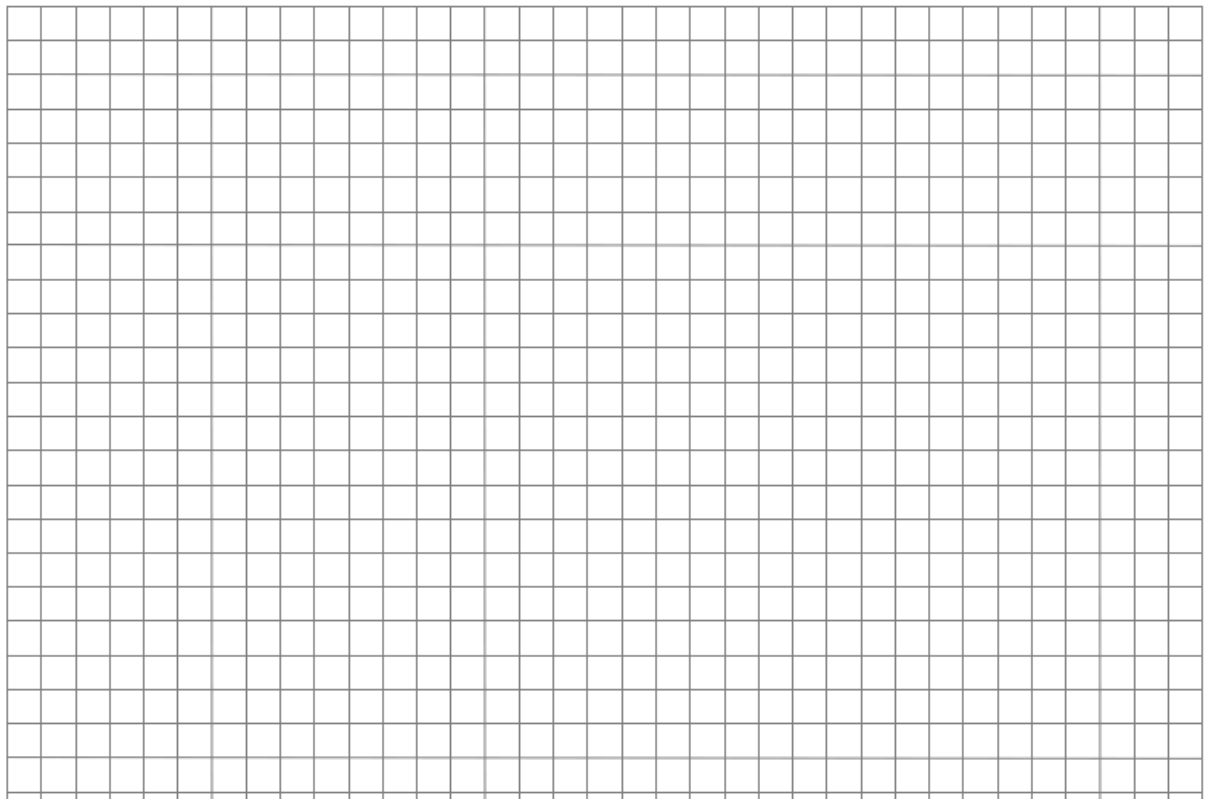
Aufspaltung von Doppelresonanzen

Material

Weinglas, Computer mit entsprechender Audiosoftware, Kurzanleitung der Software

Durchführung

- 1) Nehmen Sie den Klang des Glases mit Hilfe der Audiosoftware auf, und erstellen Sie dessen Frequenzspektrum. Zur Aufnahme genügt die Verwendung des im Computer eingebauten Mikrofons.
- 2) Vergrößern Sie den Bereich des Frequenzspektrums der die Grundschwingung des Glases enthält und im Anschluss den entsprechenden Bereich um die erste Oberschwingung herum. Skizzieren Sie das jeweils dargestellte Teilspektrum.

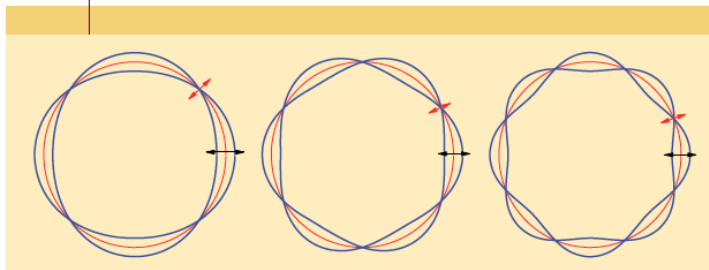


Was fällt Ihnen hierbei auf?

3) Lesen Sie zu diesem Effekt die folgende Textpassage¹, und erklären Sie wie er zustande kommt. Vergleichen Sie die im Text dargestellten Ergebnissen mit Ihren Resultaten.

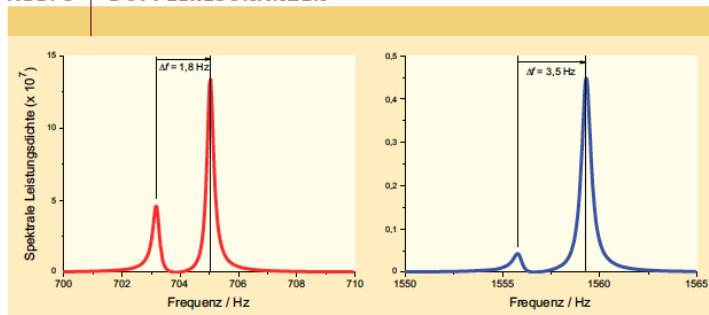
„ ... Sieht man sich die experimentellen Spektren etwas genauer an, entdeckt man Erstaunliches. Alle Resonanzen sind immer doppelt vorhanden, und zwar im sehr kleinen Frequenzabstand von einigen Hertz (Abbildung 5a). Die Geringfügigkeit der Aufspaltung ist der Grund, warum dieses Phänomen in der Mehrzahl der Publikationen über die Schwingungen von Weingläsern bisher gar keine Beachtung fand und auch praktisch nie erwähnt wurde. Nicht nur die Grundschwingung ist zweifach aufgespalten, sondern auch alle Oberschwingungen bestehen immer aus zwei nahe beieinander liegenden Resonanzen (Abbildung 5b). Jedes Glas hat alle seine Schwingungsmoden doppelt, wobei die Aufspaltungen Δf_i für die Grundschwingung und die Oberschwingungen unterschiedlich sind. Misst man Gläser aus einem Set, so hat jedes einzelne Glas sein eigenes, unterschiedliches Aufspaltungsmuster. Es gibt im Regelfall keine exakt gleichen Gläser innerhalb eines Sets, und jedes Glas kann auf Grund seines individuellen Aufspaltungsmusters eindeutig identifiziert werden. Die Grundschwingung ist eine Quadrupolmode mit vier Knoten, während die erste und zweite Oberschwingung jeweils sechs oder acht Knoten besitzen (Abbildung 4). (...) Unabhängig davon, wie sich die Dicke des Glases über seinen Umfang verteilt, gilt: Ist das Glas in den Schwingungsbäuchen einer Mode dicker als in den Knoten, dann ergibt sich eine höhere Frequenz, weil f proportional zu d ist. Da die Grundmode des Glases vier Knoten hat und sich nach 90° wiederholt, zeigt das Schwingungsmuster eine 90° -Symmetrie. Deshalb liegt bei dieser Mode die zweite Schwingung jeweils um 45° gedreht bei tieferer Frequenz...“

ABB. 4 | SCHWINGUNGSMODEN



Schwingungsmoden des Glasrandes: a) Grundschwingung, b) und c) Oberschwingungen. Schwarzer Doppelpfeil: Schwingungsmode 1, roter Doppelpfeil: Schwingungsmode 2.

ABB. 5 | DOPPELRESONANZEN



Die zwei Resonanzen im Bereich der Grundschwingung a) liegen bei $f_0 = 704,1 \text{ Hz} \pm 0,9 \text{ Hz}$, die Aufspaltung ist $\Delta f_0 = 1,8 \text{ Hz}$. b) Resonanzen der ersten Oberschwingung bei $1557,5 \text{ Hz} \pm 1,75 \text{ Hz}$, $\Delta f_1 = 3,5 \text{ Hz}$.

¹ Entnommen aus: **G. Denninger (2013). Das Ohr trink mit.** Physik in unserer Zeit, 44: 142–146.

Station 3

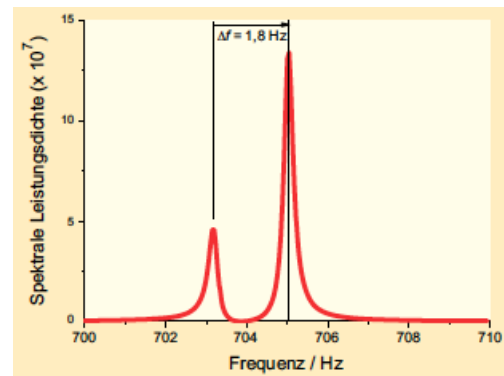
Aufspaltung von Doppelresonanzen

Material

Weinglas, Winkelschablone, Foliestift (non-permanent), Computer mit entsprechender Audiosoftware, Kurzanleitung der Software

Durchführung

Bei einer genauen Untersuchung der Grundschwingung zeigt sich, wie in nebenstehender Abbildung² dargestellt, dass diese in zwei Resonanzen geteilt ist. Diese Aufspaltung soll im Folgenden genauer untersucht werden. Bringen Sie dazu auf dem Fuß des Weinglases zunächst eine kleine Markierung mit dem Foliestift an. Das präparierte Glas stellen Sie nun auf die Winkelschablone (siehe Rückseite) und versetzen es in Schwingungen.

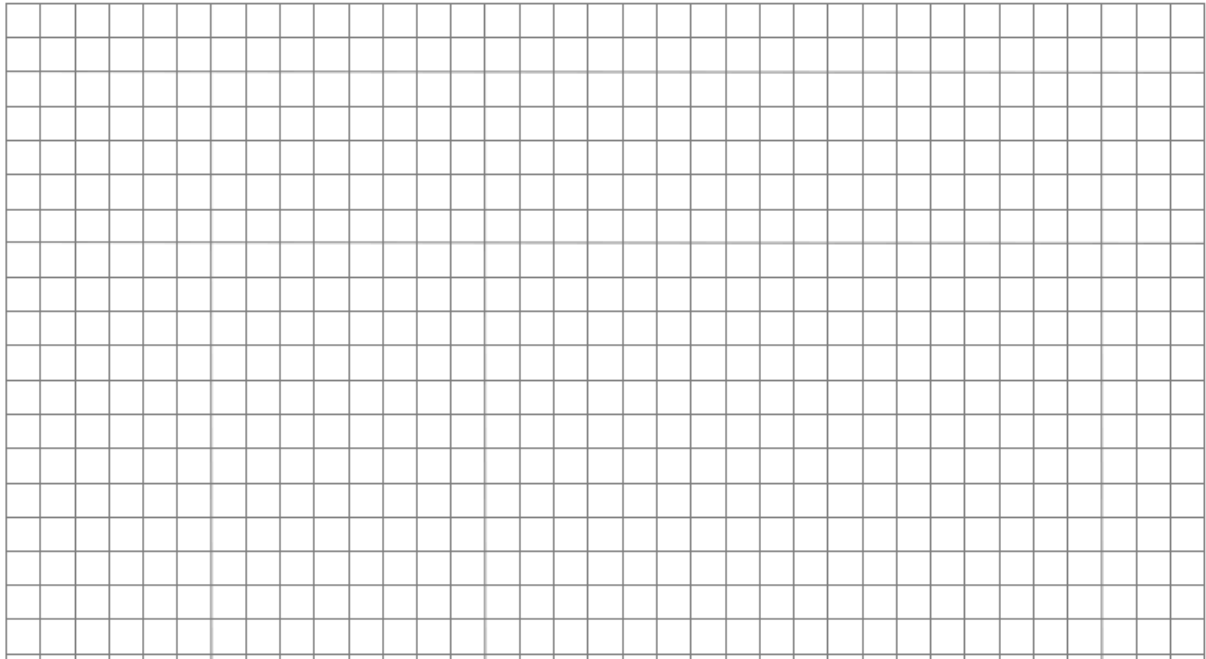


- 1) Nehmen Sie die Schwingung des Glases auf und erstellen Sie das entsprechende Frequenzspektrum. Vergrößern Sie darin den Bereich der Grundschwingung und notieren Sie die Frequenzen der beiden Teilschwingungen sowie deren Amplituden respektive Intensitäten. Drehen Sie im Anschluss das Glas jeweils um 10° auf der Schablone weiter, versetzen es erneut in Schwingungen und wiederholen Sie die Messung bis die folgende Tabelle ausgefüllt ist.

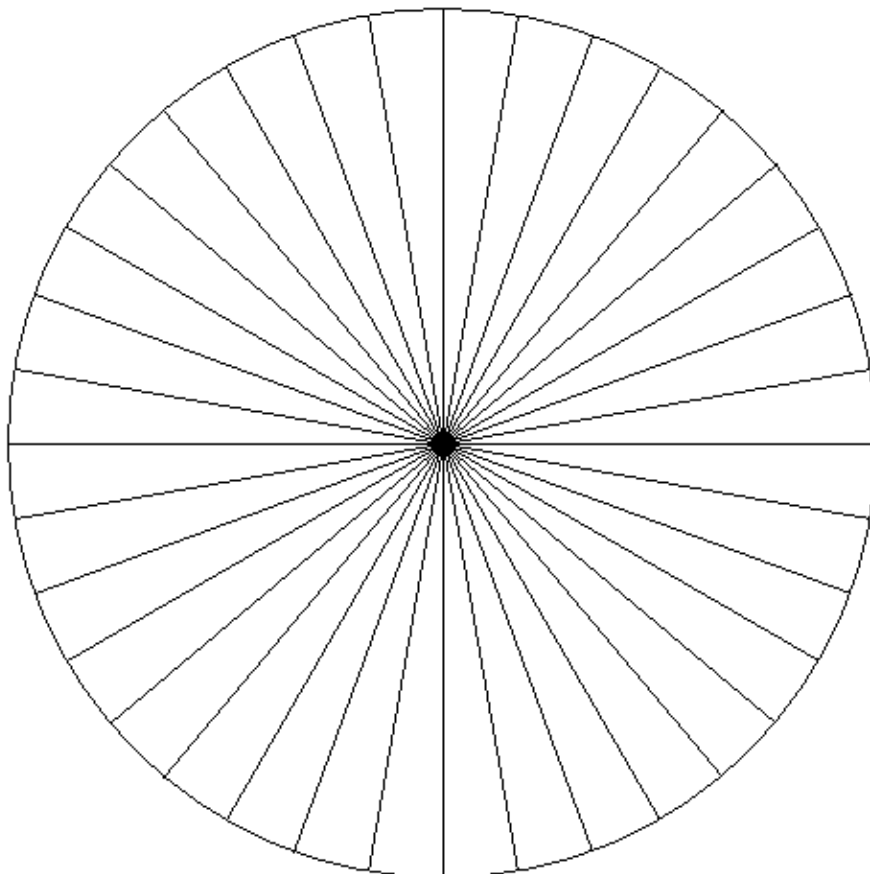
| Winkel [°] | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
|--------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Frequenz f_{01} [Hz] | | | | | | | | | | |
| Intensität f_{01} [dB] | | | | | | | | | | |
| Frequenz f_{02} [Hz] | | | | | | | | | | |
| Intensität f_{02} [dB] | | | | | | | | | | |

- 2) Erstellen Sie auf der Rückseite dieses Arbeitsblattes ein Diagramm der Intensitäten beider Teilschwingungen in Abhängigkeit des Winkels.

² Entnommen aus: G. Denninger (2013). *Das Ohr trink mit*. Physik in unserer Zeit, 44: 142–146.



Winkelschablone zur Durchführung des Versuchs



Station 4

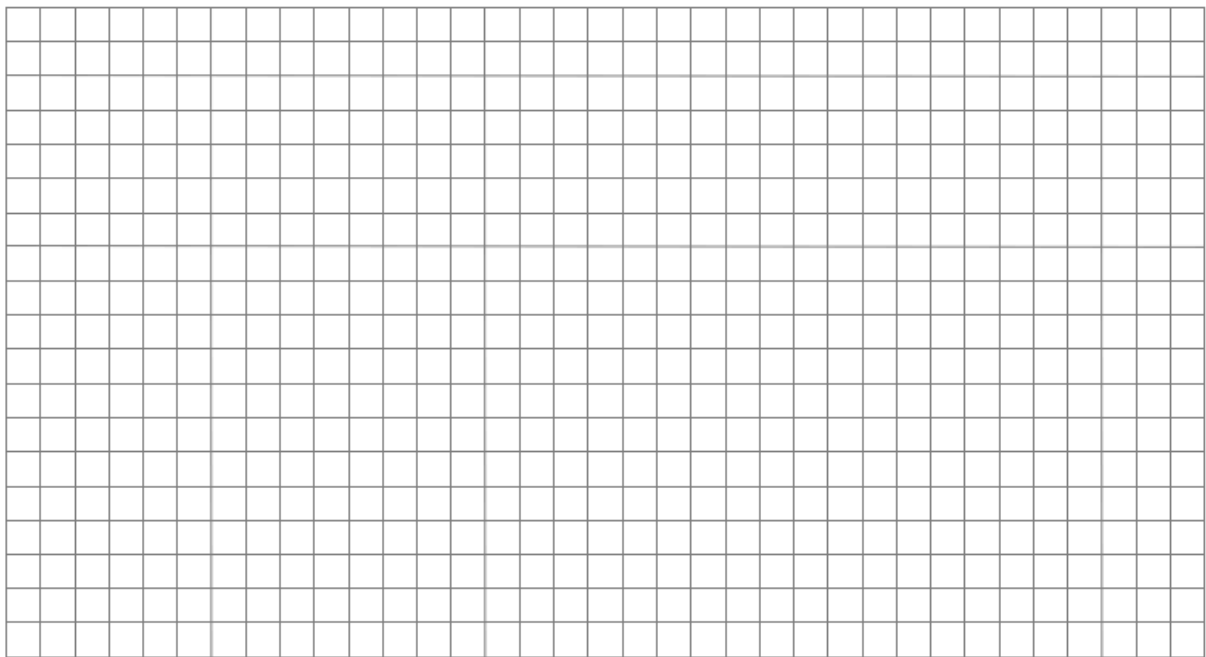
Abhängigkeit der Grundfrequenz von der Füllmenge des Weinglases

Material

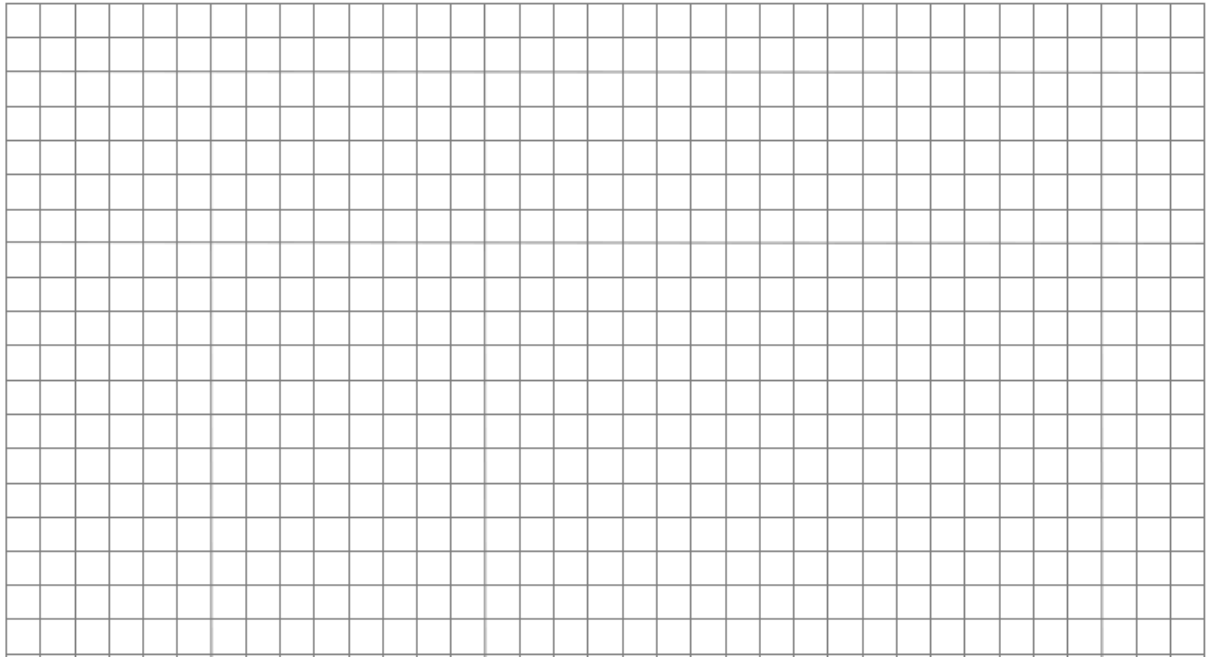
Weinglas, Messbecher gefüllt mit Wasser, Computer mit entsprechender Audiosoftware, Kurzanleitung der Software

Durchführung

- 1) Nehmen Sie den Klang des Weinglases mit Hilfe der Audiosoftware auf, und erstellen Sie dessen Frequenzspektrum. Zur Aufnahme genügt die Verwendung des im Computer eingebauten Mikrofons. Bestimmen Sie die Grundfrequenz f_0 des schwingenden Glases.
- 2) Füllen Sie das Weinglas jeweils in Schritten von 0,1 l bis zu einer maximalen Füllmenge von 0,5 l. Bestimmen sie nach jeder Füllung f_0 .
- 3) Tragen Sie die gemessenen Grundfrequenzen in Abhängigkeit der Füllmenge in ein Diagramm ein.



- 4) Erstellen Sie auf der Rückseite dieses Arbeitsblattes ein weiteres Diagramm, indem die relativen Frequenzänderungen $\frac{f_0 - f}{f_0}$ in Abhängigkeit der Füllmenge dargestellt sind.



- 5) Ein musikalischer Halbtonschritt liegt bei einer Frequenzänderung von etwa 6 %. Ab welcher Füllmenge wird dieser überschritten?

Station 5

Manipulation des Frequenzspektrums eines Weinglases

Material

Weinglas, Computer mit entsprechender Audiosoftware, Kurzanleitung der Software

Durchführung

- 1) Nehmen Sie den Klang des Weinglases mit Hilfe der Audiosoftware auf, und erstellen Sie dessen Frequenzspektrum. Zur Aufnahme genügt die Verwendung des im Computer eingebauten Mikrofons.
- 2) Schneiden Sie einige der hohen Frequenzen aus dem Spektrum heraus und erstellen Sie daraus einen neuen Klang. Speichern Sie Ihren erzeugten Klang als wav-Datei ab. Wie hat sich dieser zur ursprünglichen Aufnahme verändert?

- 3) Schneiden Sie einige der tiefen Frequenzen aus dem Spektrum heraus und erstellen Sie daraus einen neuen Klang. Speichern Sie Ihren erzeugten Klang als wav-Datei ab. Wie hat sich dieser zur ursprünglichen Aufnahme verändert?

- 4) Wie ändert sich der Klang wenn nur die Grundfrequenz f_0 herausgeschnitten wird?
