

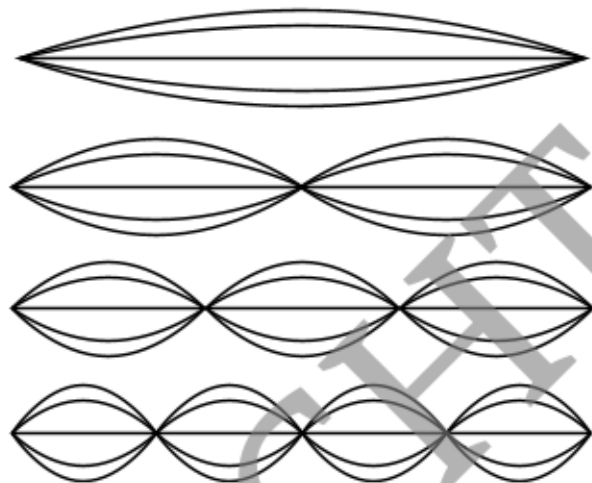
Schall und Resonanz in Physik und Musik

Axel Donges, Isny im Allgäu

I/A

Resonanzen spielen in allen Bereichen von Wissenschaft und Technik eine wichtige Rolle. Behandeln Sie daher Resonanzphänomene in Ihrem Mittelstufenunterricht.

In diesem Beitrag erarbeiten sich die Schüler experimentell die Formeln für die Resonanzfrequenzen eines gasgefüllten Rohres. Sie erkennen, dass dabei die Randbedingungen (offenes Ende, geschlossenes Ende) eine entscheidende Rolle spielen. Zum Abschluss wird das Erlernete auf Blas- und Saiteninstrumente übertragen. Wir betrachten dazu konkrete Beispiele aus der Musik.



Spielen ein Lied auf einer selbst gebauten Flaschenorgel!

Der Beitrag im Überblick

Klasse: 8/9

Dauer: 5 Stunden

Ihr Plus:

- ✓ packende Schülerexperimente
- ✓ fachübergreifende Einheit

Inhalt:

- akustische Resonanzen einer Gassäule
- stehende Wellen
- Labialpfeifen und Saiteninstrumente
- Frequenzspektrum (Klangfarbe)

Materialübersicht

⌚ V = Vorbereitungszeit SV = Schülerversuch Ab = Arbeitsblatt/Informationsblatt
 ⌚ D = Durchführungszeit LV = Lehrerversuch Fo = Folie

M 1	Info	Was ist Schall? – Frische dein Wissen auf!	
M 2	Ab, SV	Zwei Experimente zum Thema Schall	
⌚ V: 10 min		<input type="checkbox"/> Vakuumpumpe	<input type="checkbox"/> Stimmgabel
⌚ D: 10 min		<input type="checkbox"/> Vakuumlöcher mit Schutzkäfig	<input type="checkbox"/> Oszilloskop
		<input type="checkbox"/> elektrische Klingel (samt Schalter und Stromversorgung)	<input type="checkbox"/> Mikrofon
M 3	Ab, SV	Resonanzfrequenzen in einem beidseitig offenen Rohr	
⌚ V: 10 min		<input type="checkbox"/> mehrere schlanke Röhre (beidseitig offen)	<input type="checkbox"/> Richtmikrofon mit Gleichrichter
⌚ D: 45 min		<input type="checkbox"/> Funktionsgenerator	<input type="checkbox"/> Spannungsmessgerät
		<input type="checkbox"/> Lautsprecher	
M 4	Ab, SV	Resonanzfrequenzen in einem halbseitig offenen Rohr	
⌚ V: 10 min		<input type="checkbox"/> schlankes Rohr (eine Seite offen, eine geschlossen, evtl. Stopfen)	<input type="checkbox"/> Richtmikrofon mit Gleichrichter
⌚ D: 40 min		<input type="checkbox"/> Funktionsgenerator	<input type="checkbox"/> Spannungsmessgerät
		<input type="checkbox"/> Lautsprecher	
M 5	Ab, SV	Messung der Schallgeschwindigkeit c	
⌚ V: 10 min		<input type="checkbox"/> Glimmspan	<input type="checkbox"/> Funktionsgenerator
⌚ D: 20 min		<input type="checkbox"/> Feuerzeug	<input type="checkbox"/> Lautsprecher
		<input type="checkbox"/> nicht entzündliches Gas	<input type="checkbox"/> Richtmikrofon mit Gleichrichter
		<input type="checkbox"/> schlankes Rohr	<input type="checkbox"/> Spannungsmessgerät
M 6	Ab, SV	Resonanzfrequenzen – Zusammenfassung	
M 7	Ab	Resonanzen und Schwingungsformen bei stehenden Seilwellen	
⌚ V: 10 min		<input type="checkbox"/> Gummischnur	<input type="checkbox"/> Elektromotor mit Exzenter und Funktionsgenerator
⌚ D: 20 min		<input type="checkbox"/> 2 Klemmmuffen / Halterung / Stativstange	
M 8	Ab, SV	Stehende Wellen – Analogie zwischen Seil- und Rohrresonanz	
M 9	Ab, SV	Stehende Schallwellen bei Labialpfeifen	
⌚ V: 10 min		<input type="checkbox"/> mehrere Flaschen	<input type="checkbox"/> Wasser
⌚ D: 10 min		<input type="checkbox"/> Zollstock	<input type="checkbox"/> Frequenzmesser
M 10	Ab, SV	Stehende Seilwellen bei Saiteninstrumenten	
⌚ V: 10 min		<input type="checkbox"/> Gitarre	<input type="checkbox"/> Stimmgabel mit abnehmbarem Resonanzkörper
⌚ D: 10 min		<input type="checkbox"/> Frequenzmesser mit integriertem Mikrofon	<input type="checkbox"/> Anschläger
M 11	Fo	Resonanzen bei Musikinstrumenten	
M 12	Ab, SV	Die Bedeutung der Obertöne in der Musik	
⌚ V: 5 min		<input type="checkbox"/> verschiedene Musikinstrumente	<input type="checkbox"/> PC mit Mikrofon und Soundkarte
⌚ D: 15 min		<input type="checkbox"/> Programm zur Messung eines Klangspektrums	

Die Erläuterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie ab Seite 25.

M 3 Resonanzfrequenzen in einem beidseitig offenen Rohr

Schülerversuch ⌚ Vorbereitung: 10 min Durchführung: 45 min

Materialien, Geräte

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> mehrere schlanke Röhre (beidseitig offen) ¹ | <input type="checkbox"/> Lautsprecher |
| <input type="checkbox"/> Funktionsgenerator | <input type="checkbox"/> Richtmikrofon mit Gleichrichter |
| | <input type="checkbox"/> Spannungsmessgerät |

Versuchsaufbau und -durchführung

An einen Lautsprecher legst du mit einem Funktionsgenerator eine sinusförmige Wechselspannung an, sodass der Lautsprecher einen deutlich wahrnehmbaren, monofrequenten Ton abstrahlt. Der Lautsprecher wird unmittelbar vor einem Rohrende positioniert. Direkt am gegenüberliegenden Rohrende platzierst du ein Richtmikrofon (mit integriertem bzw. nachgeschaltetem Gleichrichter), das du an ein digitales Spannungsmessgerät anschließt (siehe Abb. 3.1).

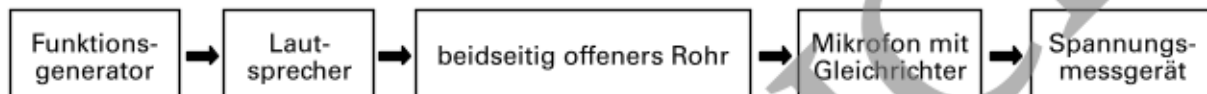


Abb. 3.1: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

Mithilfe des Mikrofons (samt Gleichrichter und Spannungsmessgerät) erfasst du die Stärke der Schallschwingungen am Ende des Rohres. Wird die Frequenz f der Wechselspannung, die an den Lautsprecher gelegt wird, verändert, so ändert sich – neben der Frequenz – auch die Stärke der detektierten Schallwelle. Bei den sogenannten **Resonanzfrequenzen** werden die Schallschwingungen im Rohr besonders intensiv, d. h. laut.

Aufgaben

- Bestimme für vier verschiedene Rohrlängen jeweils die fünf niedrigsten Resonanzfrequenzen.

Tipp

Man erkennt eine Resonanzfrequenz daran, dass das Mikrofonsignal ein **lokales Maximum** annimmt (d. h., dass das Mikrofonsignal sinkt, wenn man sich von der Resonanzfrequenz entfernt).

- Teile jede Resonanzfrequenz, die du gemessen hast, durch die (zu dem jeweiligen Rohr gehörende) kleinste Resonanzfrequenz.

Info

Die kleinste Eigenfrequenz wird auch **Grundfrequenz** genannt.

Erkennst du eine Gesetzmäßigkeit? Wenn ja, welche?

- Multipliziere die experimentell ermittelten Grundfrequenzen mit den zugehörigen doppelten Rohrlängen.

Erkennst du eine Gesetzmäßigkeit? Wenn ja, welche?

M 6 Resonanzfrequenzen – Zusammenfassung

Das hast du in den vorhergehenden Materialien gelernt:

- Gas, das sich in einem Rohr befindet, kann zu Resonanzschwingungen angeregt werden. Im Fall der Resonanz (von lat. *resonare* „widerhallen“) schwingt die Gassäule verstärkt mit, was sich in einem Anwachsen der Lautstärke bemerkbar macht.
- Resonanzen liegen bei schlanken Gassäulen und im Fall **zweier offener Enden** vor, wenn die Gassäule mit einer Resonanzfrequenz

$$f_n = n \cdot \frac{c}{2L} \quad \text{mit } n = 1, 2, 3, \dots \quad (6.1)$$

angeregt wird. Hierbei sind

$c \hat{=}$ Schallgeschwindigkeit, $L \hat{=}$ Länge des Rohres und $n \hat{=}$ Ordnung der Resonanz.

- Die kleinste Resonanzfrequenz

$$f_1 = \frac{c}{2L} \quad (6.2)$$

(im Fall zweier offener Enden) heißt **Grundfrequenz**.

- Resonanzen liegen bei schlanken Rohren und im Fall **eines offenen und eines geschlossenen Endes** genau dann vor, wenn die Gassäule mit einer Resonanzfrequenz

$$f_n = (2n-1) \cdot \frac{c}{4L} \quad \text{mit } n = 1, 2, 3, \dots \quad (6.3)$$

angeregt wird. Diese Resonanzfrequenz entspricht einem **ungeradzahligen Vielfachen** der kleinsten Resonanzfrequenz $\frac{c}{4L}$.

Die gleichen Resonanzerscheinungen werden auch bei anderen physikalischen Systemen – z. B. bei einem gespannten, elastischen Seil – beobachtet.

Dies zeigen wir mit dem nachfolgenden Experiment.



E A d g h e1

Abb. 6.1: Die Saiten einer Gitarre zeigen ebenfalls Resonanz. Resonanz einer Saite tritt nur bei ganz bestimmten Frequenzen – den Resonanzfrequenzen – auf.