

82. Tonabnehmer: elektromagnetisch

Klassenstufe	Oberthemen	Unterthemen	Anforderungs-niveau	Durchführungs-niveau	Vorlauf Vorbereitung Durchführung
SI, SII	Elektromagnetismus Akustik	Induktion Saitenschwingungen	● ●	■ ■ ■ ■	1 Tag ca. 20 min. ca. 20 min.

Am Modell des Tonabnehmers einer E-Gitarre wird die Tonübertragung mit Hilfe elektromagnetischer Induktion demonstriert.

Materialien

- 2 Hufeisenmagnete mit Abschlußbügel
- 3 Spulen (z. B. 300/600/900 Wdg.)
- Niederfrequenzverstärker
- Spannungsmeßgerät
- Lautsprecher
- Plektrum
- Gitarrensaite aus Stahl
- Saitenspanner (Lehrmittel oder Eigenbau)
- Anschlagsvorrichtung (Eigenbau)
- Kabel
- Stativmaterial

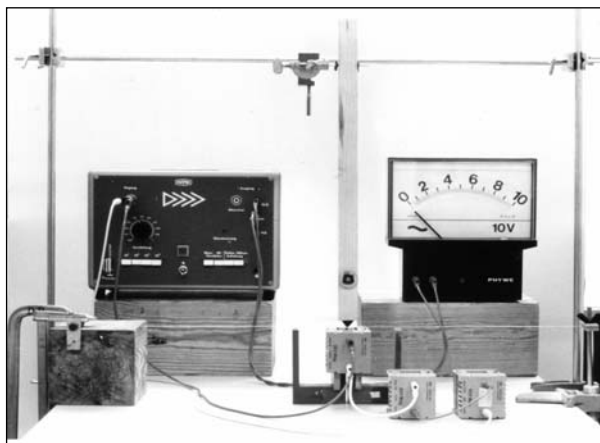


Abb. 1: Gesamtaufbau des Versuchs

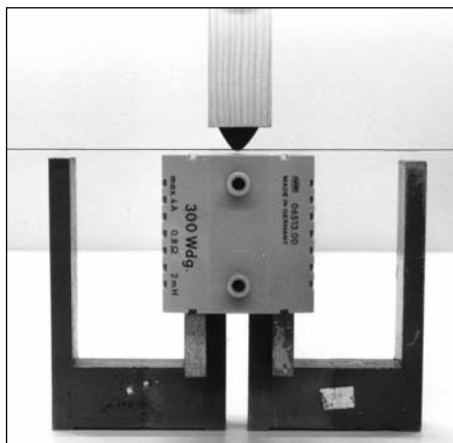


Abb. 2: Detailansicht des Modell-Tonabnehmers mit Anschlagsvorrichtung, Saite, Magneten und Spule

Vorbereitung

Für den vorliegenden Versuch benötigt man eine E-Gitarrensaite und ein Plektrum sowie eine Spannvorrichtung für die Saite. Ein solcher Saitenspanner kann leicht selbst hergestellt werden.¹ Er wird jedoch auch von Lehrmittelfirmen angeboten.

Um für die quantitative Messung einen jeweils gleichen Anschlag der Saite zu gewährleisten, muß eine Anschlagsvorrichtung gebaut werden. Dazu benötigt man eine Holzplatte, in die an einem Ende ein Schlitz gesägt wird, um das Plektrum hineinzustecken. Am anderen Ende wird ein Loch zur Aufhängung gebohrt. Ein weiteres Loch auf der Seite des Plektrums kann zum Anbringen von Mastestücken genutzt werden, um die Anschlagsenergie zu erhöhen.

¹ Für den Eigenbau eines Saitenspanners benötigt man eine möglichst lange Schraube, in deren Mitte man senkrecht zur Achse ein Loch zum Einhängen der Saite bohrt. Links und rechts dieser Bohrung wird je eine Mutter aufgeschraubt. Diese Muttern werden mit Schraubzwingen auf einer Unterlage befestigt, damit unter der Saite die Spulen Platz haben. Das Spannen der Saite erfolgt durch drehen der Schraube. Um ein Entspannen der Saite zu verhindern, wird ein Sicherungsblech über die Schraube geschoben, mittels einer Kontermutter festgeklemmt und an der Unterlage befestigt (z. B. durch Nagel oder Schraube).

Aufbau

Die jeweilige Spule wird so über zwei gleiche Pole der Hufeisenmagnete gesteckt, daß die Enden der Magnete genau mit der Spule abschließen und nicht aus ihr herausragen (Abb. 2). Dies kann z. B. durch Unterlegen der Abschlußbügel der Magnete unter die Spule erfolgen. Die Gitarrensaite wird so angebracht, daß der Abstand zu den darunter befindlichen Hufeisenmagneten wenige Millimeter beträgt. Die Anschlagsvorrichtung sollte so aufgehängt sein, daß das Plektrum die Saite beim Vorbeischwingen gerade noch berührt.

Durchführung/Ergebnis

Zur Untersuchung des Induktionsgesetzes werden nun die 3 Spulen in Reihe geschaltet (Eigenwiderstand!) und an den Meßverstärker angeschlossen. Nacheinander werden die Spulen auf die Magnete gesteckt und unter der gespannten Gitarrensaite plaziert. Dabei wird jeweils die Induktionsspannung gemessen, die entsteht, wenn die Saite durch die Anschlagsvorrichtung in Schwingung versetzt wird. Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, läßt man die Saite immer aus der gleichen Höhe anschlagen, so daß das Plektrum die Gitarrensaite immer mit der gleichen Geschwindigkeit trifft.

Funktionsweise

Die Gitarrensaite besteht aus ferromagnetischem Material (z. B. Stahl) oder enthält einen ferromagnetischen Kern. Die schwingende Saite ändert das Magnetfeld vor dem Magneten des Tonabnehmers periodisch. Dieses sich ändernde Magnetfeld induziert in der Spule eine Wechselspannung gleicher Frequenz.

Variante

Durch den Anschluß eines Oszilloskopes an den Ausgang des Verstärkers lassen sich die Schwingungen der Saite darstellen. Dabei stellt man fest, daß sich keine reine Sinuskurve einstellt. Dies liegt daran, daß neben der Grundschwingung auch verschiedene Oberschwingungen angeregt werden.

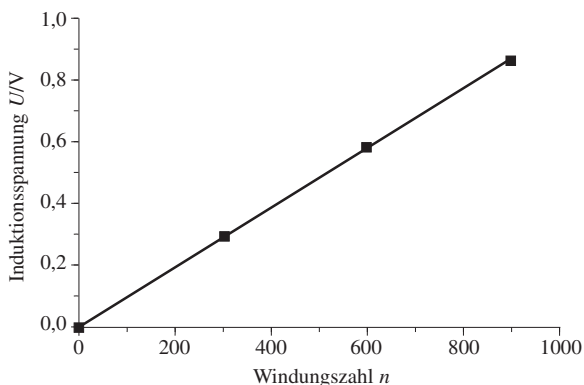


Abb. 3: Abhängigkeit der Induktionsspannung von der Windungszahl

Abschätzung

Bestimmt man Länge, Masse und Frequenz der schwingenden Saite, so läßt sich daraus die Spannkraft der Saite abschätzen. Zur Messung der Frequenz schließt man an den Ausgang des Verstärkers einen Digitalzähler an. Für den Zusammenhang zwischen Frequenz f und Spannkraft F gilt:²

$$f = \frac{1}{2l} \cdot \sqrt{\frac{F}{\mu}} \Rightarrow F = 4\mu l^2 f^2.$$

Dabei ist $\mu = \frac{m_{\text{ges}}}{l_{\text{ges}}}$ die eindimensionale Dichte, d. h. die auf die Gesamtlänge der Saite bezogene

Gesamtmasse der Saite. Für $\mu = 1,1 \text{ g/m}$, $l = 0,7 \text{ m}$ und $f = 450 \text{ Hz}$ erhält man als Spannkraft: $F \approx 437 \text{ N}$, das entspricht etwa der Gewichtskraft eines Jugendlichen.

Methodischer Einsatz

Aufgrund des umfangreichen Versuchsaufbaus ist der Versuch hauptsächlich als Demonstrationsexperiment geeignet.

Desweiteren läßt sich der Versuch als Ausgangspunkt für ein fächerübergreifendes Projekt "Physik und Musik" oder als Facharbeitsthema "Selbstbau einer E-Gitarre" verwenden.

² K. Heidemann: Die Physik in Versuchen – Akustik, PHYWE-Schriftenreihe, Industrie-Druck GmbH Verlag, Göttingen 1971.