

## Übung 23                      **Mechanische Wellen** **Stehende Wellen, Eigenschwingungen, Doppler-Effekt**

### Lernziele

- verstehen, dass sich auf einem endlichen Wellenträger nur bei bestimmten Frequenzen eine stehende Welle bzw. eine Eigenschwingung bildet.
- den Zusammenhang zwischen der Länge eines Wellenträgers und den Wellenlängen bzw. Frequenzen der möglichen Eigenschwingungen verstehen und anwenden können.
- den Doppler-Effekt verstehen.
- die Zusammenhänge zwischen gesendeter und wahrgenommener Frequenz beim Doppler-Effekt verstehen und anwenden können.

### Aufgaben

#### *Stehende Wellen, Eigenschwingungen*

#### 1.        **Experiment Posten 1: Federseil**

Im Unterrichtszimmer L28 befindet sich ein Federseil. Es ist an einem Ende fest montiert.

- a)        Nehmen Sie das andere Ende in Ihre Hand. Erzeugen Sie durch Auf- und Abbewegungen der Hand eine Welle auf dem Federseil.
- b)        Überzeugen Sie sich davon, dass sich auf dem Federseil nur bei bestimmten Frequenzen eine stehende Welle ausbildet.
- c)        Erzeugen Sie die Grundwelle und mindestens die ersten zwei Oberwellen.
- d)        Überlegen Sie sich, ob das Ende des Federseils, das Sie in der Hand halten, als offenes oder als festes Ende des Wellenträgers zu betrachten ist.

#### 2.        **Experiment Posten 2: Kundt'sches Rohr**

(August Kundt, 1839-1894)

Im Praktikumsraum L26 ist das sogenannte Kundt'sche Rohr aufgebaut. Es besteht aus einem Glasrohr, welches feinverteiltes, trockenes Korkmehl enthält. Das Glasrohr ist auf einer Seite durch einen Stöpsel verschlossen. Am offenen Ende befindet sich der Lautsprecher eines Tongenerators.

Wird mit Hilfe eines Tongenerators ein Ton (harmonische Schallwelle) erzeugt, so beginnt das Korkmehl leicht zu vibrieren. Bei bestimmten Frequenzen bewegt es sich besonders stark: es entstehen regelmässige Staubfiguren (sog. Kundt'sche Staubfiguren). Diese hängen wie folgt mit den stehenden Wellen im Glasrohr zusammen:

Das Korkmehl wird dort weggeblasen, wo sich die Luftteilchen besonders stark bewegen, also in den Schwingungs- oder Bewegungsbäuchen der stehenden Schallwelle.

Es bilden sich dort kleine Staubhäufchen, wo sich die Luftteilchen nicht bewegen, also in den Schwingungs- oder Bewegungsknoten der Schallwelle.

- a)        Verändern Sie am Drehknopf des Tongenerators langsam die Frequenz des erzeugten Tones. Beobachten Sie dabei das Korkmehl im Glasrohr.
- b)        Überzeugen Sie sich davon, dass bei bestimmten Frequenzen eine stehende Schallwelle entsteht.
- c)        Erzeugen Sie mindestens zwei verschiedene Eigenschwingungen.
- d)        Messen Sie bei einer Eigenschwingung mit einem Massstab den Abstand der Schwingungsknoten, und bestimmen Sie daraus die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schallwellen.

3. **Experiment Posten 3: Chladni'sche Klangfiguren**

(Ernst Chladni, 1756-1827)

Im Praktikumsraum L27 befindet sich eine waagrecht montierte, quadratische Glasplatte, die mit feinverteiltem Sand bedeckt ist. Daneben liegt auf dem Tisch ein Violinbogen.

- a) Streichen Sie mit dem Violinbogen über den Rand der Glasplatte.  
Versuchen Sie, mindestens eine Eigenschwingung der Glasplatte anzuregen.
- b) Beobachten Sie das Verhalten des Sandes auf der Glasplatte.  
Das entstehende Sandmuster macht die zur entsprechenden Eigenschwingung gehörenden Knoten und Bäuche sichtbar.
- c) Wiederholen Sie a) und b) mit der runden Glasplatte.

4. Im Unterricht wurde gezeigt, wie man stehende Wellen bzw. Eigenschwingungen auf einem endlichen Wellenträger zeichnerisch darstellen kann.

Erstellen Sie eine Zeichnung für die Grundschwingung und die ersten vier Oberschwingungen einer Orgelpfeife für die drei Fälle a), b) und c):

- a) Die Orgelpfeife ist beidseitig geschlossen.
- b) Die Orgelpfeife ist beidseitig offen.
- c) Die Orgelpfeife ist einseitig offen.

5. Die Wellenlängen bzw. die Frequenzen der Eigenschwingungen auf einem Wellenträger der Länge  $L$  seien wie folgt bezeichnet:

	<b>Wellenlänge</b>	<b>Frequenz</b>
Grundschwingung	$\lambda_0$	$f_0$
1. Oberschwingung	$\lambda_1$	$f_1$
2. Oberschwingung	$\lambda_2$	$f_2$
3. Oberschwingung	$\lambda_3$	$f_3$
...		
n. Oberschwingung	$\lambda_n$	$f_n$

Leiten Sie mit Hilfe Ihrer Zeichnungen aus der Aufgabe 4 für die drei Fälle a), b) und c) eine Beziehung zwischen der Frequenz  $f_n$  der n-ten Oberschwingung und der Frequenz  $f_0$  der Grundschwingung her.

Vorgehen:

- i) Drücken Sie mit Hilfe der Zeichnung die Grundwellenlänge  $\lambda_0$  durch die Länge  $L$  des Wellenträgers aus.
- ii) Drücken Sie mit Hilfe der Zeichnung die Wellenlänge  $\lambda_n$  der n-ten Oberschwingung durch die Zahl  $n$  und die Länge  $L$  des Wellenträgers aus.
- iii) Drücken Sie durch Kombination der Ergebnisse aus i) und ii) die Wellenlänge  $\lambda_n$  der n-ten Oberschwingung durch die Zahl  $n$  und die Grundwellenlänge  $\lambda_0$  aus.
- iv) Drücken Sie die Grundfrequenz  $f_0$  durch die Grundwellenlänge  $\lambda_0$  und die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v_{ph}$  aus.
- v) Drücken Sie die Frequenz  $f_n$  der n-ten Oberschwingung durch die Wellenlänge  $\lambda_n$  der n-ten Oberschwingung und die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v_{ph}$  aus.

- vi) Drücken Sie durch Kombination der Ergebnisse aus iii), iv) und v) die Frequenz  $f_n$  der n-ten Oberschwingung durch die Zahl n und die Grundfrequenz  $f_0$  aus.
  - vii) Drücken Sie das Ergebnis aus vi) in Worten aus.  
Welche Frequenzen treten in den Eigenschwingungen (Grundschiwingung und Oberschwingungen) im Vergleich zur Grundfrequenz auf?
    - a) Der Wellenträger hat beidseitig ein festes Ende.
    - b) Der Wellenträger hat beidseitig ein freies Ende.
    - c) Der Wellenträger hat auf der einen Seite ein festes und auf der anderen Seite ein freies Ende.
6. Studieren Sie das Java-Applet "Stehende Longitudinalwellen". Sie finden es unter <http://telecom.tlab.ch/~borer> Physik Unterlagen (...)
7. Eine beidseits offene und eine einseitig geschlossene Orgelpfeife sind beide auf denselben Grundton der Frequenz 264 Hz abgestimmt.
  - a) Bestimmen Sie die Längen der beiden Pfeifen.
  - b) Geben Sie für beide Pfeifen die Frequenzen der ersten drei Obertöne an.
8. Von einer beidseitig offenen Orgelpfeife kennt man die Frequenzen von drei benachbarten Obertönen:  
466.2 Hz      582.7 Hz      699.2 Hz
  - a) Geben Sie an, den wievielten Obertönen die angegebenen Frequenzen entsprechen.
  - b) Bestimmen Sie die Länge der Orgelpfeife.

#### *Doppler-Effekt*

9. Studieren Sie das Java-Applet "Doppler-Effekt". Sie finden es unter <http://telecom.tlab.ch/~borer> Physik Unterlagen (...)
10. Studieren Sie im Buch Metzler den Abschnitt "3.3.4 Der Doppler-Effekt" (Seiten 128 und 129).
11. Metzler: 129/1
12. Ein Auto fährt geradlinig auf ein Polizei-Radargerät zu.  
Das Radargerät sendet eine Radarwelle der Frequenz  $f$  in Richtung des Autos aus. Die Welle wird vom Auto reflektiert und gelangt wieder zum Radargerät zurück. Das Radargerät registriert die Frequenz  $f_R$  der reflektierten Welle und vergleicht sie mit der Frequenz  $f$  der ausgesendeten Welle.  
Bestimmen Sie aus den Frequenzen  $f$  und  $f_R$  die Geschwindigkeit  $v$  des Autos.

### Lösungen

1. a) ...  
b) ...  
c) ...  
d) festes Ende
2. a) ...  
b) ...  
c) ...  
d) ...
3. a) ...  
b) ...  
c) ...
4. a) ...  
b) ...  
c) ...
5. a) i)  $l_0 = 2L$                       ii)  $l_n = \frac{2}{n+1} L$                       iii)  $l_n = \frac{1}{n+1} l_0$   
iv)  $f_0 = \frac{v_{Ph}}{l_0}$                       v)  $f_n = \frac{v_{Ph}}{l_n}$                       iv)  $f_n = (n+1) f_0$   
vii) In den Eigenschwingungen (Grundschiwingung und Oberschwingungen) treten als Frequenzen alle ganzzahligen Vielfache der Grundfrequenz auf.:  
 $f_0, 2 \cdot f_0, 3 \cdot f_0, \dots$
- b) wie bei a)
- c) i)  $l_0 = 4L$                       ii)  $l_n = \frac{4}{2n+1} L$                       iii)  $l_n = \frac{1}{2n+1} l_0$   
iv)  $f_0 = \frac{v_{Ph}}{l_0}$                       v)  $f_n = \frac{v_{Ph}}{l_n}$                       iv)  $f_n = (2n+1) f_0$   
vii) In den Eigenschwingungen (Grundschiwingung und Oberschwingungen) treten als Frequenzen nur die ungeraden ganzzahligen Vielfache der Grundfrequenz auf.:  
 $f_0, 3 \cdot f_0, 5 \cdot f_0, \dots$
6. ...
7. (siehe Seite 5)

7. a) offene Pfeife:  $L = 65.2 \text{ cm}$   
 einseitig geschlossene Pfeife:  $L = 32.6 \text{ cm}$
- b) offene Pfeife: 1. OS  $f_1 = 528 \text{ Hz}$   
 2. OS  $f_2 = 792 \text{ Hz}$   
 3. OS  $f_3 = 1056 \text{ Hz}$
- einseitig geschlossene Pfeife: 1. OS  $f_1 = 792 \text{ Hz}$   
 2. OS  $f_2 = 1320 \text{ Hz}$   
 3. OS  $f_3 = 1848 \text{ Hz}$

8. a) 3. OS, 4. OS, 5. OS  
 b)  $L = 1.48 \text{ m}$

9. ...

10. ...

11. Metzler: 129/1  
 Bewegter Sender, ruhende Empfänger  
 - vor dem Vorbeifahren

$$f_E = \frac{f}{1 - \frac{u}{v_{Ph}}} \quad 1660 \text{ Hz}$$

- nach dem Vorbeifahren

$$f_E = \frac{f}{1 + \frac{u}{v_{Ph}}} \quad 1370 \text{ Hz}$$

12. Das Radargerät sendet eine Radarwelle der Frequenz  $f$  aus (ruhender Sender).  
 Das Auto empfängt eine Welle der Frequenz  $f_1$  (bewegter Empfänger).  
 Das Auto reflektiert eine Welle der Frequenz  $f_1$  (bewegter Sender).  
 Das Radargerät empfängt eine Welle der Frequenz  $f_R$  (ruhender Empfänger).

$$f_1 = f \cdot 1 + \frac{v}{v_{Ph}}$$

$$f_R = \frac{f}{1 - \frac{v}{v_{Ph}}}$$

-----

$$v = v_{Ph} \cdot \frac{f_R - f}{f_R + f}$$