

## Übung 10                      **Wellen** **Stehende Wellen, Eigenschwingungen**

### Lernziele

- verstehen, wie durch Überlagerung zweier gegenläufiger Wellen gleicher Frequenz und gleicher Amplitude eine stehende Welle entsteht.
- 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 herleiten können.
- den Zusammenhang zwischen der Länge eines Wellenträgers und den Wellenlängen bzw. Frequenzen der möglichen Eigenschwingungen anwenden können.

### Aufgaben

1.        Studieren Sie, wie aus der Überlagerung zweier gegenläufiger Wellen eine stehende Welle entsteht. Benützen Sie dazu die folgenden Quellen:
  - Abbildung 139.1 im Lehrbuch *Metzler-Physik* (kopiertes Blatt, Seite 139) mit dazugehörigem Text
  - Computerprogramm "Wellen"  
Public on 'Htachur1\Usr' (G:)    Bau    Borer    Wellen
  
2.        Auf einem Federseil können stehende Wellen erzeugt werden.
  - a)        Warum treten die stehenden Wellen nur bei bestimmten Frequenzen auf?
  - b)        Wie gross ist der Abstand zweier Knoten in einer stehenden Welle?
  
3.        *Erzeugung von Eigenschwingungen*
  - a)        *Federseil*

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

    - i)        Nehmen Sie das andere Ende in Ihre Hand. Erzeugen Sie durch Auf- und Abbewegungen der Hand eine Welle auf dem Federseil.
    - ii)       Überzeugen Sie sich davon, dass sich auf dem Federseil nur bei bestimmten Frequenzen eine stehende Welle ausbildet.
    - iii)      Erzeugen Sie die Grundwelle und mindestens die ersten zwei Oberwellen.
    - iv)      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.
  
  - b)        *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 das Mikrofon eines Tongenerators.

    - i)        Verändern Sie am Drehknopf des Tongenerators langsam die Frequenz des erzeugten Tones. Beobachten Sie dabei das Korkmehl im Glasrohr.
    - ii)       Überzeugen Sie sich davon, dass bei bestimmten Frequenzen das Korkmehl an Stellen mit gleichem Abstand zusammengeschoben wird. Diese Kundt'schen Staubfiguren veranschaulichen die Eigenschwingungen der Luftsäule im Glasrohr.
    - iii)      Erzeugen Sie mindestens zwei verschiedene Eigenschwingungen.
  
  - c)        *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.

    - i)        Streichen Sie mit dem Violinbogen über den Rand der Glasplatte.  
Versuchen Sie, mindestens eine Eigenschwingung der Glasplatte anzuregen.
    - ii)       (siehe Seite 2)

- ii) Beobachten Sie das Verhalten des Sandes auf der Glasplatte.  
Das entstehende Sandmuster macht die zur entsprechenden Eigenschwingung gehörenden Knoten und Bäuche sichtbar.
- iii) Wiederholen Sie i) und ii) mit der runden Glasplatte.

4. *Zeichnerische Darstellung von Eigenschwingungen*

Veranschaulichen Sie sich durch Zeichnungen die Grundschiwingung und die ersten vier Oberschwingungen einer Orgelpfeife.

Die Zeichnungen müssen nicht exakt sein. Skizzen genügen.

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

5. *Zusammenhang zwischen der Länge des Wellenträgers und den Wellenlängen bzw. Frequenzen der Eigenschwingungen*

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

	Wellenlänge	Frequenz
Grundschiwingung	0	$f_0$
1. Oberschwiwingung	1	$f_1$
2. Oberschwiwingung	2	$f_2$
3. Oberschwiwingung	3	$f_3$
...		
n. Oberschwiwingung	n	$f_n$

Lösen Sie mit Hilfe Ihrer Zeichnungen aus der Aufgabe 4 für alle drei möglichen Fälle i), ii), iii) die Aufgaben a), b), c).

- i) Der Wellenträger hat beidseitig ein festes Ende.
  - ii) Der Wellenträger hat beidseitig ein offenes Ende.
  - iii) Der Wellenträger hat auf der einen Seite ein festes und auf der anderen Seite ein offenes Ende.
- a) Drücken Sie durch eine Formel die Grundwellenlänge  $\lambda_0$  und die Grundfrequenz  $f_0$  durch die Länge  $L$  des Wellenträgers und die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  aus.
  - b) Drücken Sie durch eine Formel die Wellenlänge  $\lambda_n$  und die Frequenz  $f_n$  der n-ten Oberschwiwingung durch n, die Länge  $L$  des Wellenträgers und die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  aus.
  - c) Drücken Sie durch eine Formel die Wellenlänge  $\lambda_n$  bzw. die Frequenz  $f_n$  der n-ten Oberschwiwingung durch n und die Grundwellenlänge  $\lambda_0$  bzw. die Grundfrequenz  $f_0$  aus.

6. 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.

7. 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.

## Lösungen

1. ...
2. a) ...  
b)  $d = \frac{c}{2}$
3. ...
4. Buch *Metzler-Physik*, Abbildung 140.1, Seite 140 (kopierte Blätter)
5. a) i)  $0 = 2L$        $f_0 = \frac{c}{2L}$   
ii)  $0 = 2L$        $f_0 = \frac{c}{2L}$   
iii)  $0 = 4L$        $f_0 = \frac{c}{4L}$   
b) i)  $n = \frac{2}{n+1} L$        $f_n = \frac{n+1}{2} \frac{c}{L}$   
ii)  $n = \frac{2}{n+1} L$        $f_n = \frac{n+1}{2} \frac{c}{L}$   
iii)  $n = \frac{4}{2n+1} L$        $f_n = \frac{2n+1}{4} \frac{c}{L}$   
c) i)  $n = \frac{1}{n+1} 0$        $f_n = (n+1) f_0$   
ii)  $n = \frac{1}{n+1} 0$        $f_n = (n+1) f_0$   
iii)  $n = \frac{1}{2n+1} 0$        $f_n = (2n+1) f_0$
6. 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  $f_3 = 1848 \text{ Hz}$
7. a) 3. OS, 4. OS, 5. OS  
b)  $L = 1.48 \text{ m}$