

## Übung 22

## Wellen Schallwellen, Elektromagnetische Wellen, Energietransport

### Lernziele

- sich aus dem Studium eines schriftlichen Dokumentes neue Kenntnisse erarbeiten können.
- eine neue Problemstellung bearbeiten können.
- den Träger einer Schallwelle kennen.
- die Erzeugung einer Schallwelle in einem Lautsprecher verstehen.
- wissen und verstehen, dass Schallwellen in Gasen und Flüssigkeiten Längswellen sind.
- den Zusammenhang zwischen der Frequenz einer sinusförmigen Schallwelle und der empfundenen Höhe des entsprechenden Tones kennen.
- die mathematische Beschreibung einer sinusförmigen, ebenen Schallwelle in einem Gas kennen.
- den Wert der Schallgeschwindigkeit in Luft kennen.
- wissen und verstehen, dass sich in festen Körpern sowohl longitudinale als auch transversale Schallwellen ausbreiten können.
- den Zusammenhang zwischen Ausbreitungsgeschwindigkeit, Wellenlänge und Frequenz anwenden können.
- wissen, wie eine elektromagnetische Welle erzeugt werden kann.
- den Träger einer elektromagnetischen Welle kennen.
- die mathematische Beschreibung einer sinusförmigen, ebenen elektromagnetischen Welle kennen.
- die gegenseitige Lage des elektrischen und des magnetischen Feldstärkevektors in einer elektromagnetischen Welle kennen.
- die Richtungen des elektrischen und des magnetischen Feldstärkevektors bezüglich der Ausbreitungsrichtung einer elektromagnetischen Welle kennen.
- wissen, dass elektromagnetische Wellen Transversalwellen sind.
- die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer elektromagnetischen Welle im Vakuum kennen.
- wissen und verstehen, wie die Energiestromdichte, die Intensität definiert ist.
- den Zusammenhang zwischen der Intensität und der Amplitude einer Schwingungsgrösse kennen und anwenden können.
- für eine von einem punktförmigen Sender abgestrahlte Welle den Zusammenhang zwischen der Intensität und dem Abstand vom Sender kennen und verstehen.
- den Zusammenhang zwischen der Intensität einer harmonischen Welle und der Frequenz der Welle kennen und verstehen.

### Aufgaben

1. Studieren Sie im Buch KPK 3 die folgenden Abschnitte:
  - 4.6 Schallwellen (Seiten 42 bis 45)
  - 4.7 Elektromagnetische Wellen (Seiten 45 bis 47)
  - 4.8 Energietransport mit Wellen (Seiten 47 und 48)
2. Im Vakuum (d.h. ohne Materie in den Feldern) folgen aus den Maxwell-Gleichungen für die elektrische Feldstärke  $E$  und die magnetische Flussdichte  $B$  im eindimensionalen Fall die folgenden Wellengleichungen (ohne Herleitung, vgl. Unterricht):

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad \frac{\partial^2 B}{\partial x^2} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 B}{\partial t^2} \quad (*)$$

- a) Überprüfen Sie, dass die folgenden Funktionen, die eine sinusförmige elektromagnetische Welle beschreiben, die Wellengleichungen (\*) erfüllen, falls  $v = 1/\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$

$$E(x,t) = \hat{E} \sin(kx - \omega t)$$

$$B(x,t) = \hat{B} \sin(kx - \omega t)$$

- b) Berechnen Sie den Wert der Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v$  einer elektromagnetischen Welle im Vakuum.

3. In einem Sender werde periodisch eine Welle angeregt und ausgesendet. Der zeitliche Verlauf der Anregung im Sender (d.h. am Ort  $x = 0$ ) sei dabei sinusförmig:

$$y(0,t) = \hat{y} \sin(\omega t)$$

Beurteilen Sie mit schlüssigen Begründungen, ob und wie in den Fällen a) und b) die Amplitude  $\hat{y}$  und die Intensität  $I$  der Welle vom Abstand  $r$  vom Sender abhängt.

- a) Der Sender sei "flächenhaft" und sendet eine seitlich begrenzte ebene Welle aus.  
b) Der Sender sei punktförmig und sendet eine Kugelwelle aus.

Hinweis:

Nehmen Sie an, dass die Welle auf ihrem Weg auf dem Wellenträger keine Energie verliert, d.h. dass keine Energie absorbiert wird.

4. Studieren Sie im Buch KPK 1 (Band "Elektrodynamik" Physik 1) den folgenden Abschnitt:  
- 3.7 Elektromagnetische Wellen (Seiten 72 bis 75)

5. Beurteilen Sie mit schlüssigen Begründungen, ob und wie die Intensität  $I$  einer harmonischen Welle von der Kreisfrequenz  $\omega$  abhängt.

Hinweise:

- Stellen Sie sich den Wellenträger modellhaft als System gekoppelter, schwingungsfähiger Elemente vor (wie die im Unterricht vorgeführte Wellenmaschine).
- Überlegen Sie sich, wie die Intensität der Welle mit der Energie zusammenhängt, die in einem einzelnen, harmonisch schwingenden Element des Wellenträgers gespeichert ist.

## Lösungen

1. ...  
Lösungen zu den Aufgaben siehe kodierte Blätter
  
2. a) ...  
b)  $v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad 300'000 \text{ km/s}$
  
3.  $I :=$  Intensität der Welle  
 $A :=$  Flächeninhalt der Wellenfronten  
 $I \cdot A = \text{konst. (Energieerhaltung)}$   
 $I \sim \hat{y}^2$ 
  - a)  $A = \text{konst.}$   
 $I = \text{konst. (d.h. unabhängig von } r)$   
 $\hat{y} = \text{konst. (d.h. unabhängig von } r)$
  - b)  $A \sim r^2$   
 $I \sim \frac{1}{r^2}$   
 $\hat{y} \sim \frac{1}{r}$
  
4. ...
  
5.  $I \sim r^{-2}$