

## Zusatz-Aufgaben 4

## Grundlagen der Wellenlehre Polarisation, Interferenz, Beugung, Doppler-Effekt (Selbststudium)

### Lernziele

- das Phänomen Polarisation kennen und verstehen.
- wissen und verstehen, dass nur Transversalwellen polarisierbar sind.
- das Phänomen Interferenz kennen und verstehen.
- wissen und verstehen, was konstruktive, destruktive Interferenz bedeutet.
- den Doppler-Effekt kennen und verstehen.
- die Zusammenhänge zwischen gesendeter und wahrgenommener Frequenz beim Doppler-Effekt anwenden können.
- eine neue Problemstellung selbstständig bearbeiten können.

### Aufgaben

#### *Polarisation*

- 4.1 Studieren Sie im Skript den Abschnitt 7.6 *Polarisation von Wellen* (Seite 49).

#### **Ergänzung**

Im Allgemeinen ist eine Transversalwelle unpolarisiert, d.h. die Welle hat nicht eine bestimmte Schwingungsrichtung, sondern sie besteht aus einem Gemisch aus (evtl. unendlich) vielen Schwingungsrichtungen.

Trifft eine unpolarisierte Welle auf einen Polarisator, so wird von jeder Schwingungsrichtung, die in der Welle enthalten ist, nur diejenige Komponente durchgelassen, welche der Polarisationsrichtung des Polarisators entspricht. Hinter dem Polarisator läuft dann eine entsprechende polarisierte Welle weiter.

In der Abbildung im Skript läuft eine polarisierte Welle in Richtung Polarisator. Im ersten Fall stimmt die Schwingungsrichtung der Welle mit der Polarisationsrichtung des Polarisators überein. Deshalb durchläuft die Welle den Polarisator ungehindert. Im zweiten Fall steht die Schwingungsrichtung der Welle senkrecht zur Polarisationsrichtung des Polarisators, so dass nichts von der Welle durch den Polarisator gelangen kann.

- 4.2 Eine polarisierte Welle mit der Amplitude  $A$  trifft auf einen Polarisator. Der Winkel zwischen der Schwingungsrichtung der Welle und der Polarisationsrichtung des Polarisators sei  $\varphi$ . (Bem.: In der Abbildung im Skript sind die beiden Extremfälle  $\varphi = 0^\circ$  und  $\varphi = 90^\circ$  dargestellt.)

Bestimmen Sie die Amplitude  $A'$  der Welle hinter dem Polarisator für die folgenden Winkel  $\varphi$ :

- a)  $\varphi = 0^\circ$                       b)  $\varphi = 30^\circ$                       c)  $\varphi = 45^\circ$   
d)  $\varphi = 60^\circ$                       e)  $\varphi = 90^\circ$

Hinweis:

Die Schwingungsrichtung der Welle kann mit einem Vektor dargestellt werden, welcher den Betrag  $A$  hat und in Schwingungsrichtung schaut. Dieser Vektor kann als Summe von zwei Komponenten aufgefasst werden. Die eine Komponente schaut in die Polarisationsrichtung des Polarisators, die zweite Komponente senkrecht dazu. Die gesuchte Amplitude ist der Betrag der Komponente in Polarisationsrichtung.

- 4.3 Licht ist eine elektromagnetische Welle. In der Fotografie werden Polarisationsfilter eingesetzt. Beurteilen Sie, ob es sich bei Licht um eine Transversal- oder eine Longitudinalwelle handelt.

#### *Interferenz*

- 4.4 a) Studieren Sie im Skript den Abschnitt 7.8.1 *Interferenz von Wellen* (Seite 51).

- b) Studieren Sie das Java-Applet „Interferenz zweier Wellen“.  
Sie finden das Applet im Internet unter: <http://www.pk-applets.de/phy/interferenz/interferenz.html>

Hinweis:

Damit das Java-Applet auf Ihrem Computer läuft, müssen Sie ggf. im „Java Control Panel“ (oder ähnlich) die Sicherheitsebene möglichst tief setzen bzw. die erwünschte Website auf eine Ausnahmeliste setzen.

### **Ergänzung 1**

Wenn zwei Wellen sich an einem Ort treffen, so addieren sich dort die Auslenkungen der Wellen. Wenn also die Auslenkung der ersten Welle  $y_1$  ist und jene der zweiten Welle  $y_2$ , dann ist die Gesamtauslenkung  $y = y_1 + y_2$ .

Für Wellen mit gleicher Amplitude ( $A_1 = A_2 =: A$ ) und gleicher Frequenz ( $f_1 = f_2$  bzw.  $\omega_1 = \omega_2$ ) gibt es zwei interessante Spezialfälle: Wenn sich an einem bestimmten Ort ständig die Wellenberge bzw. die Wellentäler der beiden Wellen treffen, so entsteht dort eine Schwingung der Amplitude  $A + A = 2A$  und man spricht von „konstruktiver Interferenz“. Treffen sich hingegen immer die Wellenberge der einen Welle mit den Wellentälern der anderen Welle (oder umgekehrt), so löschen sich die beiden Wellen gegenseitig aus ( $A - A = 0$ ) und man spricht von „destruktiver Interferenz“.

### **Ergänzung 2**

Die Interferenzerscheinungen beim Ölfilm entstehen so: Lichtwellen, die direkt an der Oberfläche des Ölfilms reflektiert werden, und Lichtwellen, die in die dünne Ölschicht hineingebrochen und auf der Rückseite des Ölfilms reflektiert und auf der Vorderseite wieder aus der Ölschicht hinausgebrochen werden, interferieren konstruktiv oder destruktiv.

Wenn der Hin- und Herweg der Welle in der Ölschicht gerade einer Wellenlänge oder einem ganzen Vielfachen einer Wellenlänge entspricht, dann entsteht konstruktive Interferenz. Wenn der Hin- und Herweg einer halben Wellenlänge (plus einem Vielfachen einer ganzen Wellenlänge) entspricht, entsteht destruktive Interferenz. Da das einfallende weisse Licht aus einem Gemisch von (unendlich) vielen Wellen verschiedener Wellenlängen besteht (jede Wellenlänge entspricht einer sog. Spektralfarbe), interferieren gewisse Farben konstruktiv, andere destruktiv.

Gleiches geschieht bei einer Seifenblase.

- 4.5 Bestimmen Sie die Dicke  $d$  einer Ölschicht, damit es bei (senkrechtem) Einfall von rotem Licht (Wellenlänge  $\lambda \approx 400$  nm im Innern des Ölfilms) zu konstruktiver Interferenz kommt.

### *Beugung*

- 4.6 Studieren Sie im Skript den Abschnitt 7.8.2 *Beugung von Wellen* (Seiten 51/52).

- 4.7 Jemand versteckt sich hinter einem dicken Baum und schreit.  
Erklären Sie mit Hilfe des Wellenphänomens Beugung, dass man die Person zwar hört, jedoch nicht sieht.

Hinweis:

Vergleichen Sie die Wellenlängen von Schall- und Lichtwellen.

### *Doppler-Effekt*

- 4.8 a) Studieren Sie im Skript den Abschnitt 7.8.3 *Doppler-Effekt* (Seite 52).

- b) Studieren Sie das Java-Applet „Doppler-Effekt“.  
Sie finden das Applet im Internet unter: <http://www.walter-fendt.de/ph14d/doppler.htm>

Ergänzung:

Das Applet zeigt den Doppler-Effekt für den Fall, dass sich die Wellenquelle auf einen ruhenden Beobachter zu bewegt. Es gibt aber auch den Doppler-Effekt für den Fall, dass die Wellenquelle in Ruhe ist und sich der Beobachter bewegt.

- 4.9 Eine Wellenquelle sendet eine Welle der Frequenz  $f$  aus. Die Welle bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $c$  durch den Raum. Für die Frequenz  $f_E$ , die ein Beobachter wahrnimmt, gilt (ohne Beweise):

Fall 1: **Bewegte Wellenquelle, ruhender Beobachter**

Der Sender bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $v$  geradlinig auf den ruhenden Beobachter zu:

$$f_E = \frac{f}{1 - \frac{v}{c}}$$

Der Sender bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $v$  geradlinig vom ruhenden Beobachter weg:

$$f_E = \frac{f}{1 + \frac{v}{c}}$$

Fall 2: **Ruhende Wellenquelle, bewegter Beobachter**

Der Beobachter bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $v$  geradlinig auf die ruhende Wellenquelle zu:

$$f_E = f \left( 1 + \frac{v}{c} \right)$$

Der Beobachter bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $v$  geradlinig von der ruhenden Wellenquelle weg:

$$f_E = f \left( 1 - \frac{v}{c} \right)$$

Beurteilen Sie mit Hilfe der angegebenen Formeln, dass es für die vom Beobachter wahrgenommene Frequenz  $f_E$  einen Unterschied macht, ob sich die Wellenquelle mit der Geschwindigkeit  $v$  auf den ruhenden Beobachter zu bewegt, oder ob sich der Beobachter mit der Geschwindigkeit  $v$  auf die ruhende Wellenquelle zu bewegt.

- a) allgemein  
b)  $c = 340 \text{ m/s}$ ,  $v = 34 \text{ m/s}$
- 4.10 An einem ruhenden Beobachter fährt eine pfeifende Lokomotive (1500 Hz) mit einer Geschwindigkeit von 120 km/h vorbei.  
Bestimmen Sie die Frequenz des Tones, den der Beobachter ...  
a) ... vor dem Vorbeifahren der Lokomotive hört.  
b) ... nach dem Vorbeifahren der Lokomotive hört.
- 4.11 Die Hupe eines stehenden Autos besitze die Frequenz 440 Hz.  
Bestimmen Sie die Frequenz, die ein anderer Autofahrer wahrnimmt, wenn er sich mit 100 km/h ...  
a) ... nähert.  
b) ... entfernt.
- 4.12 Bei einem Marschmusikwettbewerb marschieren eine Blaskapelle an einer Jury vorbei.  
Wie schnell müssten die Musiker marschieren, damit die Jury-Mitglieder die Musik nach dem Vorbeimarsch um einen halben Ton tiefer hören würden als beim Herannahen der Kapelle?  
Hinweise:  
- Das Frequenzverhältnis zweier Töne, die sich um einen halben Ton unterscheiden, beträgt 16:15.

## Lösungen

4.1 ...

4.2  $A' = \cos(\varphi) \cdot A$

a)  $A' = \cos(0^\circ) \cdot A = A$

b)  $A' = \cos(30^\circ) \cdot A = \frac{\sqrt{3}}{2} A$

c)  $A' = \cos(45^\circ) \cdot A = \frac{1}{\sqrt{2}} A$

d)  $A' = \cos(60^\circ) \cdot A = \frac{1}{2} A$

e)  $A' = \cos(90^\circ) \cdot A = 0$

4.3 Transversalwelle

Nur Transversalwellen lassen sich polarisieren, Longitudinalwellen nicht.

4.4 a) ...

b) ...

4.5 Konstruktive Interferenz für  $2d = k \cdot \lambda$  ( $k \in \mathbb{N}$ )

$$d = \frac{k}{2} \cdot \lambda \approx 200 \text{ nm}, 400 \text{ nm}, 600 \text{ nm}, \dots$$

4.6 ...

4.7 Die Beugung ist besonders ausgeprägt, falls die Abmessung des beugenden Objektes etwa der Wellenlänge entspricht.

Durchmesser Baum:  $d \approx 1 \text{ m}$

Wellenlänge Schall:  $\lambda \approx 1 \text{ m} \approx d$ , Schall wird gebeugt

Wellenlänge Licht:  $\lambda \approx 500 \text{ nm} \ll d$ , Licht wird nicht gebeugt

4.8 a) ...

b) ...

4.9 a)  $\frac{f}{1 - \frac{v}{c}} \neq f \left(1 + \frac{v}{c}\right)$  nachrechnen!

b) Bewegte Wellenquelle, ruhender Beobachter:  $f_E = \frac{10}{9} f$   
Ruhende Wellenquelle, bewegter Beobachter:  $f_E = \frac{11}{10} f$

4.10 a) vor dem Vorbeifahren

$$f_E = \frac{f}{1 - \frac{v}{c}} \approx 1660 \text{ Hz} \quad (\text{Annahme: } c = 340 \text{ m/s})$$

b) nach dem Vorbeifahren

$$f_E = \frac{f}{1 + \frac{v}{c}} \approx 1370 \text{ Hz} \quad (\text{Annahme: } c = 340 \text{ m/s})$$

- 4.11 a) beim sich Nähern  
 $f_E = f \left(1 + \frac{v}{c}\right) = 476 \text{ Hz}$  (Annahme:  $c = 340 \text{ m/s}$ )
- b) beim sich Entfernen  
 $f_E = f \left(1 - \frac{v}{c}\right) = 404 \text{ Hz}$  (Annahme:  $c = 340 \text{ m/s}$ )

4.12  $\frac{f_1}{f_2} = k$   
 $f_1 = \frac{f}{1 - \frac{v}{c}}$   $c = \text{Schallgeschwindigkeit}$   
 $f_2 = \frac{f}{1 + \frac{v}{c}}$

-----  
 $\Rightarrow v = \frac{k-1}{k+1} c = 11 \text{ m/s} = 39 \text{ km/h}$  (Annahme:  $c = 340 \text{ m/s}$ )  
Dies liegt über dem 100-m-Weltrekord!