

## Übung 25

## Wellen Polarisation, Dispersion, Schwebung, Doppler-Effekt

### Lernziele

- experimentelle Beobachtungen mit eigenen Worten beschreiben können.
- aus einem Experiment neue Erkenntnisse gewinnen können.
- das Phänomen Polarisation kennen und verstehen.
- das Phänomen Dispersion kennen und verstehen.
- das Phänomen Schwebung kennen und verstehen.
- den Doppler-Effekt verstehen.
- die Zusammenhänge zwischen gesendeter und wahrgenommener Frequenz beim Doppler-Effekt verstehen und anwenden können.
- eine neue Problemstellung bearbeiten können.

### Aufgaben

#### Polarisation

#### 1. Experiment Posten 1: Federseil

Das Federseil verläuft durch einen aus zwei parallelen Stativstangen bestehenden Spalt.

Lassen Sie einen kurzen Wellenzug gegen den Spalt laufen. Beobachten Sie, ob und wie der Wellenzug den Spalt passiert. Schreiben Sie Ihre Beobachtungen in einigen Worten auf.

Untersuchen Sie die folgenden Fälle:

- Longitudinalwelle
- Transversalwelle, Schwingungsrichtung parallel zum Spalt
- Transversalwelle, Schwingungsrichtung senkrecht zum Spalt
- Transversalwelle, Schwingungsrichtung im Winkel  $45^\circ$  zum Spalt

#### 2. Experiment Posten 2: Polarisator/Analysator

Die vorliegende Anordnung besteht aus einer Lichtquelle (einfarbiges oder weisses Licht), einem Polarisator und einem Analysator. Zwischen dem Polarisator und dem Analysator befindet sich ein Körper aus Plexiglas. Mit einer Hebelvorrichtung kann der Plexiglaskörper mechanisch deformiert werden.

Führen Sie sowohl für das einfarbige als auch für das weisse Licht die folgenden Experimente durch:

- Variieren Sie bei eingeschaltetem Licht die Einstellungen von Polarisator und Analysator. Beobachten und notieren Sie für die jeweiligen Einstellungen, ob bzw. wieviel Licht durch den Analysator tritt.
- Stellen Sie den Polarisator und den Analysator so ein, dass durch den Analysator kein Licht mehr tritt.

Deformieren Sie nun den Plexiglaskörper (mit Gefühl!). Was beobachten Sie?

Notieren Sie Ihre Beobachtungen, und versuchen Sie, eine Erklärung für Ihre Beobachtungen zu finden.

#### Dispersion

#### 3. Unter Dispersion versteht man die Abhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle von der Frequenz der Welle.

Es gibt Wellenarten, die Dispersion zeigen. Bei anderen Wellenarten ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit unabhängig von der Frequenz, d.h. diese Wellen zeigen keine Dispersion.

Erklären Sie anhand des Phänomens Regenbogen, dass Lichtwellen Dispersion zeigen.

4. Das menschliche Ohr nimmt Schallwellen als Töne, Klänge und Geräusche wahr.
- Ein einzelner Ton entspricht einer Schallwelle mit einer bestimmten Frequenz. Je höher der Ton ist, desto höher ist die Frequenz  $f$  der dazugehörigen Schallwelle.
- Klänge und Geräusche sind Mischungen von verschiedenen Tönen und entsprechen demnach Überlagerungen von Schallwellen verschiedener Frequenzen.
- Beurteilen Sie nun, ob bei Schallwellen die Ausbreitungsgeschwindigkeit von der Frequenz abhängt oder nicht.
- Belegen oder widerlegen Sie die Behauptung anhand einer Erfahrung, die Sie im Alltag mit Tönen, Klängen und Geräuschen machen.

### *Schwebung*

5. **Experiment Posten 3: Stimmgabeln**
- Die vorliegenden Stimmgabeln sind beide auf den sogenannten Kammerton  $a'$  ( $f = 440$  Hz) gestimmt. Man kann eine Stimmgabel jedoch verstimmen, indem man eine Klemmschraube an einem Schenkel der Stimmgabel montiert. Der Grad der Verstimmung hängt dabei von der Position der Klemmschraube ab.
- Zwischen den Resonanzkörpern der Stimmgabeln ist ein Mikrofon montiert. Es registriert die (resultierende) Schallwelle am entsprechenden Ort des Raumes. Der zeitliche Verlauf des Mikrofonsignals kann auf der Anzeige eines Kathodenstrahl-Oszilloskopes (KO) betrachtet werden.
- Verstimmen Sie die eine Stimmgabel mit der Klemmschraube. Schlagen Sie dann beide Stimmgabeln kurz nacheinander mit dem Gummihammer an.
- Beschreiben Sie, was Sie hören (1 Ton oder 2 Töne?, zeitlicher Verlauf?).
  - Beschreiben Sie, was Sie auf der KO-Anzeige sehen.
  - Versuchen Sie, das, was Sie hören, mit dem, was Sie auf der KO-Anzeige sehen, in Verbindung zu bringen bzw. zu erklären.
- Wiederholen Sie das Experiment, indem Sie den Grad der Verstimmung der einen Stimmgabel variieren.
6. (Voraussetzung: Aufgabe 5)
- Studieren Sie das Java-Applet "Schwebung". Sie finden es unter [http://telecom.tlab.ch/~borer/Æ Physik Æ Unterlagen \(...\)](http://telecom.tlab.ch/~borer/Æ%20Physik/Æ%20Unterlagen/...)
- Studieren Sie die Überlagerung zweier Schallwellen für verschiedene Frequenzen der Einzelwellen.

### *Doppler-Effekt*

7. **Experiment Posten 4: Wellenwanne**
- Erzeugen Sie auf der Wellenwanne eine Kreiswelle. Bewegen Sie gleichzeitig den Wellenerzeuger mit konstanter Geschwindigkeit über die Wasseroberfläche hinweg.
- Beobachten Sie dabei das auf die Wand projizierte Wellenbild:
- Vergleichen Sie die Wellenlänge und die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Kreiswelle vor und hinter dem Wellenerzeuger mit der Wellenlänge und der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Kreiswelle bei ruhendem Erzeuger.
- Notieren Sie sich Ihre Beobachtungen.
8. Studieren Sie das Java-Applet "Doppler-Effekt". Sie finden es unter [http://telecom.tlab.ch/~borer/Æ Physik Æ Unterlagen \(...\)](http://telecom.tlab.ch/~borer/Æ%20Physik/Æ%20Unterlagen/...)

9. **Bewegter Sender, ruhender Empfänger**

Ein Sender bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $v$  auf einen ruhenden Empfänger **zu** und sendet einen Ton der Wellenlänge  $\lambda$  (Frequenz  $f$ , Periode  $T$ ) aus.

Wie im Unterricht aufgezeigt wurde, registriert der Empfänger einen Ton der (kleineren) Wellenlänge

$$\lambda_E = \lambda - v \cdot T \quad (1)$$

- a) Leiten Sie aus (1) eine Beziehung zwischen der Frequenz  $f$  und der vom Empfänger registrierten (höheren) Frequenz  $f_E$  her.
- b) Bestimmen Sie für den Fall, dass sich der Sender vom Empfänger **weg**bewegt, ...
  - i) ... die zu (1) analoge Beziehung zwischen  $\lambda$  und  $\lambda_E$ .
  - ii) ... die entsprechende Beziehung zwischen  $f$  und  $f_E$ .

10. **Bewegter Empfänger, ruhender Sender**

Ein Empfänger bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $v$  auf einen ruhenden Sender **zu**, welcher einen Ton der Frequenz  $f$  aussendet.

Wie im Unterricht aufgezeigt wurde, registriert der Empfänger einen Ton der (höheren) Frequenz  $f_E$ , wobei die folgenden beiden Beziehungen gelten:

$$c = \lambda \cdot f \quad (2)$$

$$c + v = \lambda \cdot f_E \quad (3)$$

- a) Leiten Sie aus (2) und (3) eine Beziehung zwischen der Frequenz  $f$  und der vom Empfänger registrierten (höheren) Frequenz  $f_E$  her.
- b) Bestimmen Sie für den Fall, dass sich der Empfänger vom Sender **weg**bewegt, ...
  - i) die zu (3) analoge Beziehung.
  - ii) ... die entsprechende Beziehung zwischen  $f$  und  $f_E$ .

11. \* **Bewegter Sender, bewegter Empfänger**

Ein Sender und ein Empfänger bewegen sich auf einer gemeinsamen Geraden, der Sender mit der Geschwindigkeit  $v_S$ , der Empfänger mit der Geschwindigkeit  $v_E$ .

Der Sender sendet einen Ton der Frequenz  $f$  aus, der Empfänger empfängt einen Ton der Frequenz  $f_E$ .

Bestimmen Sie die Beziehung zwischen den beiden Frequenzen  $f$  und  $f_E$ . Berücksichtigen Sie dabei alle zu unterscheidenden Fälle für die Bewegungsrichtungen von Sender und Empfänger.

12. Bei einem Marschmusikwettbewerb marschiert 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?

Hinweis:

Das Frequenzverhältnis zweier Töne, die sich um einen halben Ton unterscheiden, beträgt 16:15.

13. 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. ...
2. ...
3. ...
4. ...
5. ...
6. ...
7. ...
8. ...

9. a)  $f_E = \frac{f}{1 - \frac{v}{c}}$   $c = \text{Schallgeschwindigkeit}$

b) i)  $l_E = l + v \cdot T$

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

10. a)  $f_E = f \left( 1 + \frac{v}{c} \right)$   $c = \text{Schallgeschwindigkeit}$

b) i)  $c - v = l \cdot f_E$

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

11. a) Sender und Empfänger bewegen sich in entgegengesetzten Richtungen aufeinander zu.

$$f_E = f \frac{c + v_E}{c - v_S}$$

- b) Sender und Empfänger bewegen sich in entgegengesetzten Richtungen voneinander weg.

$$f_E = f \frac{c - v_E}{c + v_S}$$

- c) Der Empfänger bewegt sich hinter dem Sender her.

$$f_E = f \frac{c + v_E}{c + v_S}$$

Bem.:  $f_E = f$ , falls  $v_E = v_S$

- d) Der Sender bewegt sich hinter dem Empfänger her.

$$f_E = f \frac{c - v_E}{c - v_S}$$

Bem.:  $f_E = f$ , falls  $v_E = v_S$

12. (siehe Seite 5)

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

---

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

13. 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).

$$f_1 = f \left( 1 + \frac{v}{c} \right) \quad c = \text{Geschwindigkeit der Radarwelle}$$
$$f_R = \frac{f_1}{1 - \frac{v}{c}}$$

---

fi  $v = c \cdot \frac{f_R - f}{f_R + f}$