

## Übung 21                      Mechanische Wellen Interferenz, Huygens'sches Prinzip, Reflexion, Brechung, Beugung

### Lernziele

- die Überlagerung zweier entgegenlaufender Störungen verstehen.
- die Interferenz zweier entgegenlaufender Wellen beschreiben können und verstehen.
- das Huygens'sche Prinzip verstehen und in einfacheren Beispielen anwenden können.
- das Reflexionsgesetz kennen.
- die Herleitung des Reflexionsgesetzes mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips verstehen.
- das Reflexionsgesetz in konkreten Problemstellungen anwenden können.
- das Brechungsgesetz kennen.
- die Herleitung des Brechungsgesetzes mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips verstehen.
- das Brechungsgesetz in konkreten Problemstellungen anwenden können.
- neue Sachverhalte analysieren können.

### Aufgaben

#### Interferenz

1. Zwei lineare, harmonische Wellen mit gleicher Frequenz und Amplitude laufen mit gleicher Geschwindigkeit in **entgegengesetzter** Richtung.  
  
Überlegen Sie sich, wie die Überlagerung der beiden Wellen aussieht.  
Benützen Sie dazu die ausgeteilten Folien mit den Grafen der beiden Wellen.  
  
Gedankenanstöße:
  - Gibt es Stellen  $x$  mit konstruktiver bzw. destruktiver Interferenz?
  - Ist die Überlagerung der beiden Wellen eine fortschreitende Welle?
2. Zwei lineare, harmonische Wellen  $y_1 = y_1(x,t)$  und  $y_2 = y_2(x,t)$  haben die gleiche Frequenz, die gleiche Amplitude und laufen in die **gleiche** Richtung.  
  
 $y_1$  hat die Funktionsgleichung  $y_1(x,t) = \hat{y} \sin(\omega t - kx)$ .  
 $y_2$  ist gegenüber  $y_1$  mit einem Gangunterschied  $s$  in Richtung der positiven  $x$ -Achse verschoben.
  - a) Geben Sie die Funktionsgleichung von  $y_2$  an.
  - b) Zeigen Sie anhand der Funktionsgleichungen für  $y_1$  und  $y_2$ , dass sich  $y_1$  und  $y_2$  vollständig auslöschen für  $s = \frac{\lambda}{2}$ , d.h. dass  $y(x,t) := y_1(x,t) + y_2(x,t) = 0$  gilt.
3. Studieren Sie die nachfolgenden Java-Applets. Sie finden sie unter <http://telecom.tlab.ch/~borer> Physik Unterlagen (...)
  - a) **Überlagerung zweier gegeneinander laufender Störungen**
    - i) Lassen Sie zwei nach oben gerichtete gleiche Dreieck-Störungen gegeneinander laufen. Beobachten Sie dabei die konstruktive Überlagerung der beiden Dreieck-Störungen.
    - ii) Lassen Sie eine nach oben und eine nach unten gerichtete Dreieck-Störung gegeneinander laufen. Beobachten Sie dabei die destruktive Überlagerung der beiden Dreieck-Störungen.
    - iii) Lassen Sie beliebige Störungen gegeneinander laufen, und beobachten Sie deren Interferenz.
  - b) **Interferenz zweier Kreiswellen**  
  
Die wandernden schwarzen Kreise symbolisieren die von den beiden Erregerzentren ausgehenden Wellenberge, die grauen Kreise die Wellentäler.

- i) Beschreiben Sie die Orte, welche durch die **roten** Linien gekennzeichnet sind.
- ii) Beschreiben Sie die Orte, welche durch die **blauen** Linien gekennzeichnet sind.
- iii) Bestimmen Sie, wie die Anzahl der zwischen den beiden Erregerzentren liegenden roten Linien vom Abstand  $d$  der beiden Erregerzentren und von der Wellenlänge  $\lambda$  abhängt.

### Huygens'sches Prinzip

4. Eine Kreiswelle geht von einem Erregerzentrum  $Z$  aus, stösst auf ein gerades Hindernis (Reflexionsgerade) und wird reflektiert.
  - a) Zeichnen Sie die Wellenfronten der von  $Z$  ausgehenden Kreiswelle.
  - b) Zeichnen Sie mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips die Wellenfronten der reflektierten Welle.
  - c) Zeigen Sie, dass das Zentrum  $Z'$  der reflektierten Wellenfronten das Spiegelbild von  $Z$  an der Reflexionsgeraden ist.

### Reflexion, Brechung

5. In einem Experiment mit der Wellenwanne können die Reflexion und die Brechung von geraden Wasserwellen beobachtet werden.  
  
Beurteilen Sie sowohl für die Reflexion als auch für die Brechung, ob
  - der Ausfallswinkel gleich oder ungleich dem Einfallswinkel ist.
  - die Frequenz der Welle gleich bleibt oder sich verändert.
  - die Wellenlänge gleich bleibt oder sich verändert.
6. Studieren Sie das Java-Applet "Reflexion und Brechung von Wellen (Prinzip von Huygens)", in welchem das Reflexions- und das Brechungsgesetz veranschaulicht und mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips erklärt wird.  
  
Sie finden das Applet unter  
<http://telecom.tlab.ch/~borer> Physik Unterlagen (...)  
  
Führen Sie jeden Schritt aus, und studieren Sie jeweils den dazugehörigen Text im Fenster unten rechts.
7. Studieren Sie im Buch Metzler vom Abschnitt "3.4.3 Reflexion und Brechung ebener Wellen" den Teil
  - a) ab: Seite 135: "Versuch 1 - Reflexionsgesetz: Man lässt gerade Wellen ..."  
bis: Seite 135: "... gleich dem Ausfallswinkel ist:  $\theta_r = \theta_i$ ."
  - b) ab: Seite 135: "Versuch 2 - Brechungsgesetz: Gerade Wellen laufen ..."  
bis: Seite 136: "... Richtungen. Dabei gilt:  $\frac{\sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)} = \frac{v_{Ph1}}{v_{Ph2}} = \text{konstant.}$ "
8. Metzler: 136/1

### Beugung

9. Eine Person steht hinter einem Baum mit einem grossen Stammdurchmesser und ruft. Man stellt fest, dass man die Person zwar **hört**, jedoch **nicht sieht**.  
  
Erklären Sie diesen Gegensatz mit Hilfe des Phänomens Beugung.  
  
Hinweis:  
Lichtwellen haben eine Wellenlänge von etwa 500 nm.

## Lösungen

1. Die Überlagerung der beiden Wellen ergibt eine **stehende Welle**.  
Es gibt feste Stellen  $x$  mit maximaler konstruktiver Interferenz, d.h. die Amplitude ist gleich der Summe der Amplituden der beiden einzelnen Wellen.  
Es gibt auch feste Stellen mit maximaler destruktiver Interferenz mit Amplitude 0.
2. a)  $y_2(x,t) = \hat{y} \sin(\omega t - k(x - s))$   
b) ...
3. a) ...  
b) i) Orte  
- mit einem Gangunterschied  $s = n \cdot \lambda$  ( $n \in \mathbb{Z}$ )  
- konstruktiver Interferenz  
- wo sich die Wellenberge bzw. die Wellentäler der beiden Kreiswellen gleichzeitig treffen  
ii) Orte  
- mit einem Gangunterschied  $s = \lambda/2 + n \cdot \lambda$  ( $n \in \mathbb{Z}$ )  
- destruktiver Interferenz  
- wo sich jeweils ein Wellenberg der einen Kreiswelle mit einem Wellental der anderen Kreiswelle trifft  
iii) 

$d$	1 rote Linie
$\lambda < d < 2\lambda$	3 rote Linien
$2\lambda < d < 3\lambda$	5 rote Linien
etc.	
4. ...
5. Reflexion  
- Ausfallswinkel = Einfallswinkel  
- Frequenz bleibt gleich  
- Wellenlänge bleibt gleich  
  
Brechung  
- Ausfallswinkel  $\neq$  Einfallswinkel  
- Frequenz bleibt gleich  
- Wellenlänge verändert sich
6. ...
7. ...
8. Metzler: 136/1  
a) Brechungsgesetz  
$$\frac{v_{\text{Ph Flach}}}{v_{\text{Ph Tief}}} = \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{\sin(45^\circ)}{\sin(60^\circ)} = 0.816$$
  
b)  $v_{\text{Ph Flach}} = 20.4 \text{ cm/s}$
9. Schall  $\lambda \approx 1 \text{ m} \approx d_{\text{Baum}}$   
Beugung ausgeprägt  
  
Licht  $\lambda \approx 500 \text{ nm} \ll d_{\text{Baum}}$   
keine Beugung