

Aufgaben 9 Wellen Beugung, Huygens'sches Prinzip, Reflexion, Brechung

Lernziele

- das Huygens'sche Prinzip kennen, verstehen und anwenden können.
- das Phänomen der Beugung kennen und mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips erklären können.
- den Zusammenhang zwischen der Ausprägung der Beugung einer Welle, der Wellenlänge und den Abmessungen des beugenden Objektes kennen.
- das Reflexionsgesetz und das Brechungsgesetz kennen.
- das Reflexionsgesetz und das Brechungsgesetz in konkreten Problemstellungen anwenden können.
- das Phänomen der Totalreflexion kennen und verstehen.
- sich aus dem Studium eines schriftlichen Dokumentes neue Kenntnisse und Fähigkeiten erarbeiten können.
- einen neuen Sachverhalt analysieren und beurteilen können.
- aus einem Experiment neue Erkenntnisse gewinnen können.
- eine neue Problemstellung selbstständig bearbeiten können.

Aufgaben

9.1 Vorgängiges Selbststudium

- Studieren Sie im Lehrbuch KPK 3 den folgenden Abschnitt:
 - 4.14 Die Beugung von Wellen (Seite 39, ohne die drei letzten Absätze, d.h. nur bis „... gross gegen die Wellenlänge sein.“, ohne Aufgabe)
- Studieren Sie die folgenden **YouTube-Videos**:
 - [Beugung von Wellen](#) (Wasserwelle) (0:36)
 - [Beugung am Spalt](#) (Wasserwelle) (0:58)
- Führen Sie in Moodle den [Test 9.1](#) durch.

- 9.2 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 Unterschied mit Hilfe des Phänomens Beugung.

- 9.3 Eine auf einer Wasseroberfläche laufende Welle trifft auf ein Hindernis und wird gebeugt. Zeichnen Sie mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips die Wellenfronten der Welle hinter dem Hindernis:

- Eine gerade Welle läuft auf eine enge Öffnung zu (Abb. 1).
- Eine gerade Welle läuft auf ein Gitter mit vielen engen Öffnungen zu (Abb. 2).
- Eine Kreiswelle läuft auf ein Gitter mit vielen engen Öffnungen zu (Abb. 2).

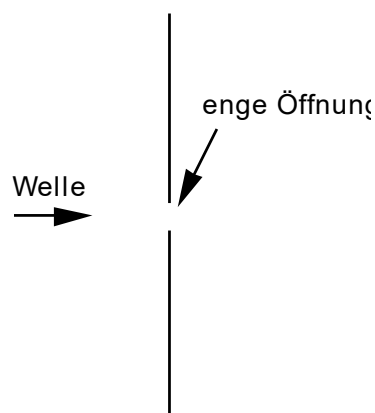


Abb. 1: zu a)

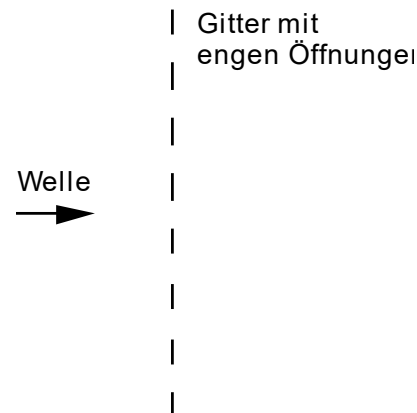


Abb. 2: zu b) und c)

- 9.4 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.
- 9.5 Studieren Sie das folgende **Applet**, in welchem das Reflexions- und das Brechungsgesetz veranschaulicht und mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips erklärt werden:
- [Reflexion und Brechung von Lichtwellen \(Erklärung durch das Prinzip von Huygens\)](#)
(Reflexion/Brechung von Wellen – Huygens 1)
- Führen Sie jeden Schritt aus, und studieren Sie jeweils den dazu erscheinenden Text im Applet.
- 9.6 Eine Welle (z.B. eine Erdbebenwelle) trifft auf die Grenzfläche zweier Medien (z.B. zwei verschiedene Gesteinsschichten in der Erdkruste). Man beobachtet beim Einfallswinkel 42° den Ausfallswinkel 36° .
- Beurteilen Sie, was sich über die Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Welle in den beiden Medien aussagen lässt.
- 9.7 Eine Welle läuft mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit v_1 durch ein Medium und trifft auf die Grenzfläche zu einem Medium, in welchem die Ausbreitungsgeschwindigkeit v_2 **grösser** ist, d.h. $v_2 > v_1$.
- Wenn der Einfallswinkel θ_1 den sogenannten **kritischen Winkel** θ_k erreicht, d.h. $\theta_1 = \theta_k$, dann beträgt der Ausfallswinkel θ_2 gerade 90° . Steigt der Einfallswinkel θ_1 über diesen kritischen Winkel θ_k , tritt keine gebrochene Welle mehr auf, sondern die ganze Welle wird reflektiert. Dieses Phänomen heisst **Totalreflexion**.
- Bestimmen Sie den kritischen Winkel θ_k , ausgedrückt durch die beiden Geschwindigkeiten v_1 und v_2 .
- 9.8 Eine Kreiswelle geht von einem Erregerzentrum Z aus, stösst auf ein geradliniges Hindernis und wird reflektiert.
- Zeichnen Sie die Wellenfronten der von Z ausgehenden Kreiswelle.
 - Zeichnen Sie mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips die Wellenfronten der reflektierten Welle.
 - Zeigen Sie, dass das Zentrum Z' der reflektierten Wellenfronten das geometrische Spiegelbild von Z an der durch das Hindernis gebildeten Reflexionsgeraden ist.
- 9.9 Betrachten Sie eine ebene Welle, welche auf einen sphärischen (d.h. kugelschalenförmigen) Hohlspiegel trifft und an dessen Oberfläche reflektiert wird.
- Konstruieren Sie mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips die Form der Wellenfront der reflektierten Welle.
- Hinweise:
- Betrachten Sie eine Projektion der Situation auf eine Ebene, in welcher die optische Achse (d.h. die durch den Kugelmittelpunkt und den Scheitelpunkt des Hohlspiegels verlaufende Symmetrieachse) liegt. In dieser Projektion erscheint der Hohlspiegel als Kreisbogen und die Fronten der einfallenden ebenen Welle als Geraden.
 - Betrachten Sie den Zeitpunkt, zu welchem die einfallende Welle den Scheitelpunkt des Hohlspiegels erreicht. Zu diesem Zeitpunkt breiten sich bereits Elementarwellen aus, die bei der Reflexion in allen anderen Punkten des Hohlspiegels erzeugt wurden.
 - Überlegen Sie sich, wie weit all diese Elementarwellen schon gekommen sind.
 - Überlagern Sie all diese Elementarwellen zur neuen reflektierten Wellenfront.
- 9.10 Führen Sie in Moodle den [Test 9.2](#) durch.

Lösungen

9.1 -

9.2 $\lambda_{\text{Schall}} \approx 1 \text{ m}$

⇒ Ein grosse Teil der Schallwelle wird gebeugt, d.h. die Beugung ist stark ausgeprägt.

$\lambda_{\text{Licht}} \approx 500 \text{ nm}$

⇒ Ein sehr kleiner Teil der Lichtwelle wird gebeugt, d.h. die Beugung ist sehr schwach ausgeprägt.

9.3 ...

9.4 Reflexion

- Ausfallswinkel = Einfallswinkel

- Frequenz bleibt gleich

- Wellenlänge bleibt gleich

Brechung

- Ausfallswinkel \neq Einfallswinkel

- Frequenz bleibt gleich

- Wellenlänge verändert sich

9.5 -

9.6 Es ist nur eine Aussage über das Verhältnis der beiden Ausbreitungsgeschwindigkeiten möglich, nicht über die Ausbreitungsgeschwindigkeiten in den einzelnen Medien.

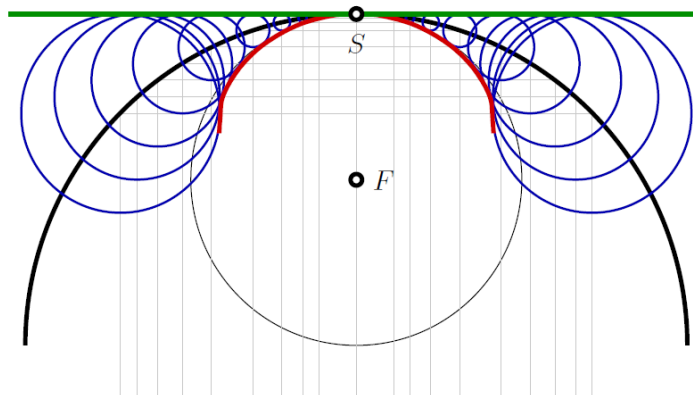
$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\sin(36^\circ)}{\sin(42^\circ)} = 0.88$$

9.7 $\theta_k = \arcsin\left(\frac{v_1}{v_2}\right)$

9.8 ...

9.9 (siehe nächste Seite)

- 9.9 Wir betrachten eine *ebene Welle*, welche auf einen Kugelhohlspiegel stösst und an dessen Oberfläche reflektiert wird. Die Situation ist in der folgenden Skizze dargestellt.



Um die *Wellen-Front* der *reflektierten Welle* mit Hilfe des Prinzips von HUYGENS-FRESNEL zu skizzieren, gehen wir nach folgenden Schritten vor.

- S1** Wir skizzieren einen Halbkreis (schwarz), welcher die Projektion des Kugelhohlspiegels auf die Ebene darstellt. Die *ebene Welle* läuft in der Skizze von unten nach oben ein.
- S2** Wir zeichnen, ausgehend vom *Scheitel-Punkt S* des Halbkreises nach unten, in regelmässigen Abständen ein paar horizontale Hilfslinien (grau) ein und verlängern diese jeweils von ihrem Schnittpunkt mit dem Halbkreis nach unten.
- S3** Wir betrachten nun den Zeitpunkt, wenn die einlaufende *ebene Welle* gerade den *Scheitel-Punkt S* in der Skizze erreicht hat. Wenn wir uns den Kugelhohlspiegel wegdenken, dann wäre die *Wellen-Front* jetzt auf der Höhe der grünen Linie.
- S4** Um alle Schnittpunkte der Hilfslinien (grau) mit dem Halbkreis (schwarz) zeichnen wir jeweils die Projektion einer *elementaren Kugel-Welle* (blau), dessen Peripherie bis zur grünen Linie reicht.
- S5** Die *reflektierte Wellen-Front* ist die Kurve (rot), welche sich innerhalb des Halbkreises an die *elementaren Kugel-Wellen* anschmiegt. Sie kann in der Nähe des *Scheitel-Punktes S* durch einen Kreis (schwarz) mit Mittelpunkt am vermeintlichen *Brenn-Punkt F* angenähert werden.

Die *reflektierte Welle* ist offensichtlich weder eine *ebene Welle*, noch verläuft sie exakt durch einen *Brenn-Punkt*.

9.10 -