

6. Wasserwellen in der Wellenwanne

Zwei- und dreidimensionale Wellen

101 i Die bisherigen Betrachtungen zur Ausbreitung von Wellen wurden hauptsächlich an eindimensionalen Wellen durchgeführt. Der Zweck dieses neuen Kapitels ist es, die Betrachtungen zur Wellenausbreitung auf **zwei-** und **dreidimensionale** Wellenträger auszudehnen. Konkret werden die Betrachtungen an Oberflächenwellen des Wassers, also an einem **zweidimensionalen** Medium durchgeführt. Dabei werden neuartige Phänomene sichtbar, welche auch bei **dreidimensionaler** Wellenausbreitung beobachtet werden können.

Ebene Wellen in der Wasserwellenwanne

102 i Die Wellenwanne ist eine Vorrichtung, welche die Ausbreitung von Wasserwellen durch Schattenprojektion gut sichtbar darstellt. Wir lernen diese Vorrichtung kennen, indem wir **ebene Wellen** (auf der Wasseroberfläche sind es eigentlich gerade Wellen) betrachten. Diese werden von einem Stab erregt, der sich an der Wasseroberfläche auf und ab bewegt. Die **Abb. 1** zeigt eine Aufsicht und darüber einen Längsschnitt der Versuchsanordnung. Die Linien stellen die Wellenberge dar. Wir nennen diese Linien in den folgenden Ausführungen auch **Wellenfronten**.

- Ziele dieses Kapitels**
1. Sie kennen das Huygenssche Prinzip und können dieses anwenden zur Erklärung von Reflexion und Brechung ebener Wellen.
 2. Sie kennen die Begriffe konstruktive und destruktive Interferenz und können diese beim Doppelspalt-Experiment mit Wasserwellen anwenden.

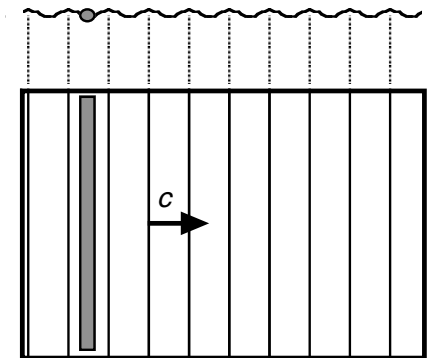


Abb. 1

Die Ausbreitung der Wellen erfolgt senkrecht zu den Wellenfronten mit konstanter Wellengeschwindigkeit c .

Kleines Hindernis und schmaler Spalt

103 i Was wird beobachtet, wenn ...

- a) ein kleines Hindernis (**Abb. 2.**) und
- b) eine Absperrung mit einem schmalen Spalt (eine **Spaltblende**) in den Wellengang gestellt wird (**Abb. 3**)?

Das Huygenssche Prinzip

104 i Beobachtungen wie die obigen brachten **Christiaan Huygens** (1629 – 95) auf die Idee, zu postulieren, dass jeder Punkt der Wasseroberfläche, der von einer Welle getroffen wird, selber zum Zentrum einer kugelförmigen Welle (einer **Elementarwelle**) wird. Das gesamte Erscheinungsbild einer oder mehrerer Wellen entsteht durch die Überlagerung aller (unendlich vielen) Elementarwellen.

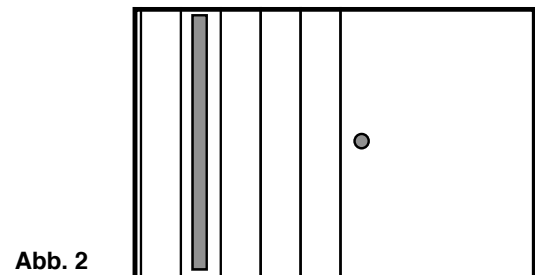


Abb. 2

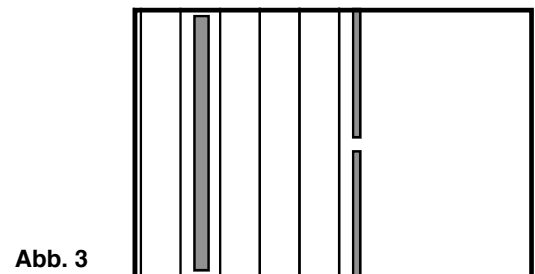


Abb. 3

Huygensches Prinzip

Das Huygenssche Prinzip besagt, dass jeder Punkt einer Wellenfront als Ausgangspunkt einer neuen Welle, der so genannten Elementarwelle, betrachtet werden kann. Die neue Lage der Wellenfront ergibt sich durch Überlagerung (Superposition) sämtlicher Elementarwellen. In drei Dimensionen sind die Elementarwellen kugelförmig, in zwei Dimensionen oder in 2D-Darstellungen kreisförmig.

Die sich weiter ausbreitende Wellenfront ergibt sich als die Einhüllende der Elementarwellen.

105 i Wie das gemeint ist, soll am Beispiel der Ausbreitung von ebenen Wellen und Kugelwellen dargestellt werden. Legende zu **Abb. 4** : Darin stellt **1** einen Ausschnitt mit zwei Wellenfronten einer ebenen Welle dar. Auf der vorderen Wellenfront (dunkel) sind einige Punkte markiert. Diese (und alle andern) Punkte werden zu Zentren neuer Elementarwellen. **2** zeigt die Situation eine Periode später: Die hintere Wellenfront hat die alte Position der vorderen erreicht und die Elementarwellen haben sich um dieselbe Strecke von ihren jeweiligen Zentren entfernt. **3** bezeichnet jene Zone, in der Wellenberge und Wellentäler von Elementarwellen aufeinander treffen und sich gegenseitig teilweise oder ganz auslöschen, je nach genauem Ort. Entlang der vordersten Linie (**4**) treffen lauter Wellenberge zusammen und bilden zusammen eine neue gerade Wellenfront.

Die Ausbreitung von **Kugelwellen** (resp. Kreiswellen) lässt sich in analoger Weise durch die Interferenz von Elementarwellen erklären (**Abb. 5**).

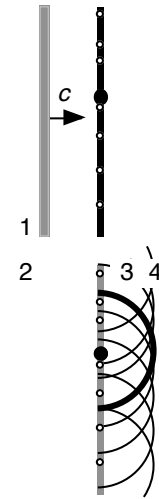


Abb. 4

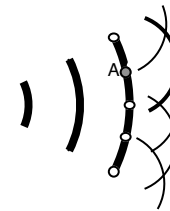


Abb. 5

Reflexion von Wasserwellen

106 Nun wird eine Wand schräg in die Wasserfläche gestellt. Was passiert mit den Wasserwellen?

107 Die eben gemachte Beobachtung erklären wir unter Anwendung des Prinzips von Huygens in folgender Bildserie:

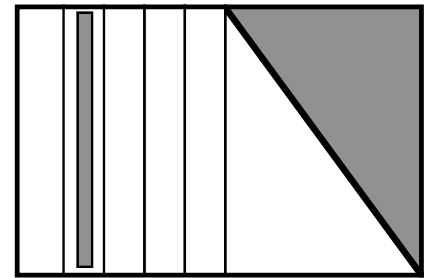


Abb. 6

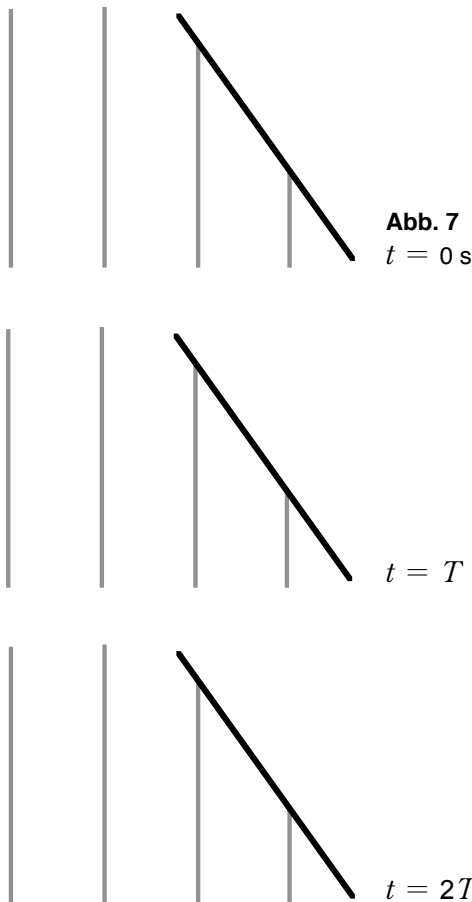


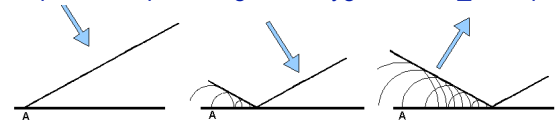
Abb. 7
 $t = 0 \text{ s}$

$t = T$

$t = 2T$



http://de.wikipedia.org/wiki/Huygenssches_Prinzip



Brechung von Wasserwellen

108 Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wasserwellen ist abhängig von der Wassertiefe. Man kann deshalb in der Wasserwanne Zonen mit verminderter Ausbreitungsgeschwindigkeit erzeugen, indem man Glasplatten auf den Boden legt.

109 Was beobachten Sie, wenn Wasserwellen gegen Zonen kleiner Ausbreitungsgeschwindigkeit laufen?

110 Auch dieses Phänomen können wir aus dem Huygensschen Prinzip erklären.

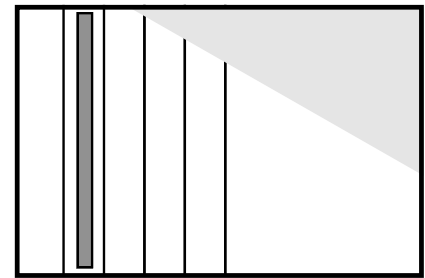


Abb. 8

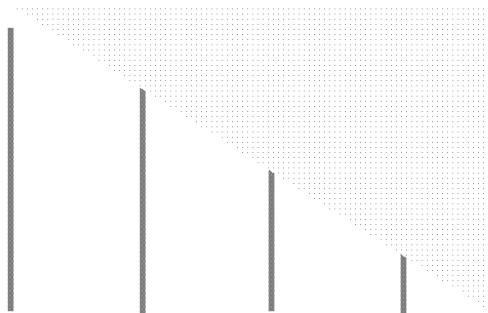
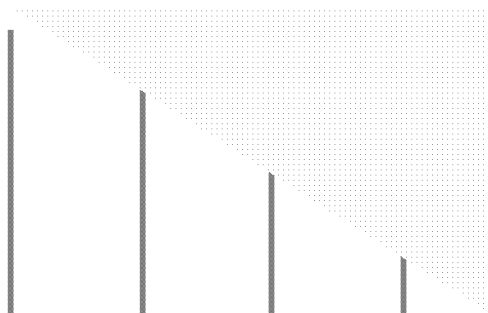
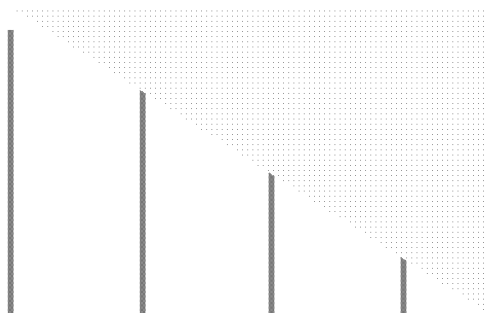


Abb. 9
 $t = 0 \text{ s}$



$t = T$



$t = 2T$

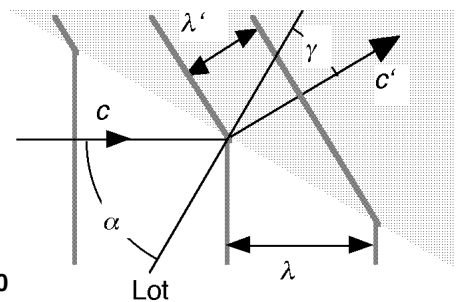
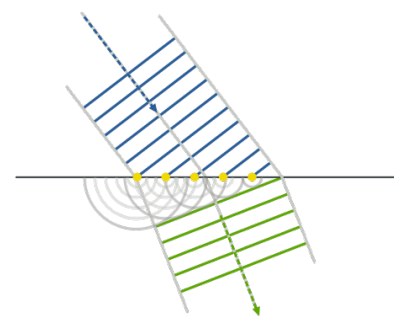


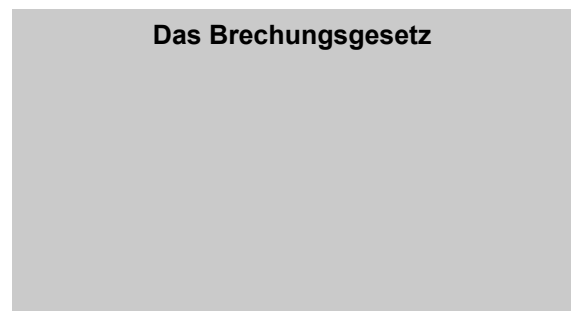
Abb. 10




http://de.wikipedia.org/wiki/Huygenssches_Prinzip

Das Brechungsgesetz

111 Die "Stärke" der Brechung hängt offensichtlich vom Unterschied der Ausbreitungsgeschwindigkeiten in den beiden Zonen ab. Den genauen Zusammenhang können wir anhand der Zeichnung **Abb. 10** klären, indem wir mit geometrischen Überlegungen das Brechungsgesetz herleiten.





Interferenz von Wasserwellen am Doppelspalt

112  Wir lassen nun die Wellen gegen einen Damm mit zwei Öffnungen laufen und betrachten das Wellenbild rechts davon eine gewisse Zeit. Wer das Wellenbild etwas längere Zeit betrachtet und dabei vielleicht auch noch die Augen etwas zukneift, erkennt ein weiteres Phänomen.

Skizzieren Sie (grob) das Phänomen in **Abb. 11**.

Bringen Sie Ihre Zeichnung mit der nachfolgenden **Abb. 12** in Verbindung.

113  Wir führen in dieser Darstellung die Begriffe **destruktive Interferenz** und **konstruktive Interferenz** ein. Die Stellen destruktiver Interferenz liegen **Knotenlinien**.

114  Durch eine Demonstration mit Folien auf dem Hellraumprojektor wird klar, dass die Stärke des Auseinanderlaufens der Knotenlinien von der Distanz zwischen den beiden Öffnungen abhängt.

Diesen Zusammenhang ergründen wir mit einer weiteren geometrischen Überlegung und weisen ihn durch grobe Messungen an der Wellenwanne nach.

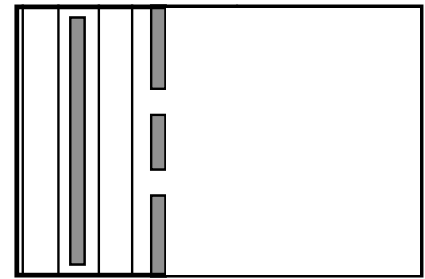


Abb. 11

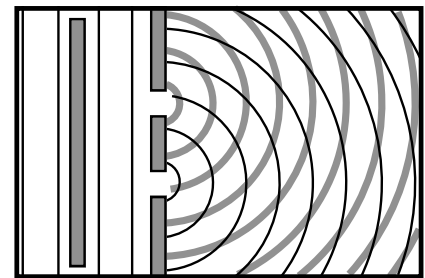




Abb. 12


Für die Interferenz von Wasserwellen am Doppelspalt gilt:

Weitere Beugungserscheinung

115  Wir stellen ein Hindernis in die Wellenwanne und lassen ebene Wellen dagegen laufen. Wagen Sie Prognosen über das Wellenbild hinter dem Hindernis!

116  Beweisen Sie das **Reflexionsgesetz** (siehe **107**) aus dem Huygensschen Prinzip.

117  In einer flachen Wanne laufen ebene **Wasserwellen** unter einem Winkel von 45° gegen eine Grenzlinie, an der die Wassertiefe durch eine Stufe im Boden verkleinert wird. Die Ausbreitungsrichtung der Wasserwellen weicht in der untiefen Stelle um 10° von der ursprünglichen Richtung ab. Stellen Sie die beschriebene Situation zuerst als Skizze dar. Bestimmen Sie die prozentuale Änderung der Wellengeschwindigkeit gegenüber der Geschwindigkeit im tiefen Bereich.

118  Halten Sie unter dieser Nummer die Ergänzungen fest, die wir im Unterricht zu diesem Kapitel (vielleicht) gemacht haben.

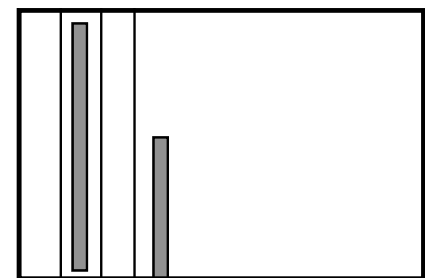


Abb. 13

- Keine Ergänzungen
- Es gibt Ergänzungen, nämlich: