

4 Entstehen einer Kreiswelle

### Elementarwellen

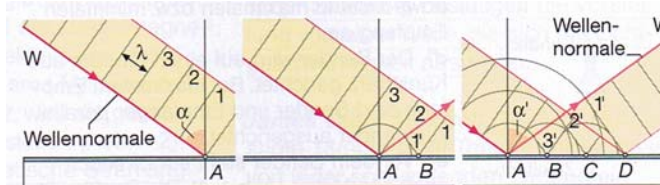
Eine Wasserwelle durchdringt eine Reihe kleiner Öffnungen nahezu ungehindert. Auch die Form einer kreisförmigen oder geraden Wellenfront wird nicht geändert. Treffen die Wellen dagegen nur auf eine einzige kleine Öffnung, so entstehen dahinter immer nur kreisförmige Wellen (Abb. ► 4). Die Wellenlänge vor und nach der Öffnung bleibt dabei konstant. Die Wasserteilchen in der Öffnung wirken wie ein punktförmiger Erreger. Bei vielen kleinen, gleichartigen und nebeneinander liegenden Öffnungen überlagern sich alle kreisförmigen Wellen wieder zu der ursprünglichen Welle. Jeder Punkt der Welle kann somit als Ausgangspunkt einer kreisförmigen Welle betrachtet werden, zugleich ist er aber auch durch die Überlagerung vie-

ler kreisförmiger Wellen entstanden. Diese Idee geht auf **Christian Huygens** (1629–1695) zurück. Die kreisförmigen Wellen werden als **Elementarwellen** bezeichnet, bei einer räumlichen Ausbreitung sind sie kugelförmig. Die Elementarwellen sind als Modell zu verstehen. Auf dieser Vorstellung beruht das folgende **Huygens'sche Prinzip** über die Ausbreitung von Wellen: Jeder Punkt einer Welle lässt sich als Ausgangspunkt einer Elementarwelle betrachten. Wellenfronten entstehen durch die Überlagerung vieler Elementarwellen; sie lassen sich als deren Einhüllende darstellen. Die Elementarwellen haben immer gleiche Frequenz und Wellenlänge wie die Welle, aus der sie entstanden sind oder die sie erzeugen.

### Die Wellennormale

Bei der Beobachtung von Wellen lässt sich ihre Ausbreitungsrichtung leicht erkennen. Bei Wellen mit geraden Wellenfronten steht die Ausbreitungsrichtung immer senkrecht zu den Wellenbergen oder -tälern. Kreisförmige oder kugelförmige Wellen gehen von einem punktförmigen Erreger aus, ihre Ausbreitung verläuft radial von diesem Erregerzentrum weg, d. h. auch ihre Ausbreitungsrichtung steht senkrecht zu den Wellenbergen und -tälern. Die jeweilige Richtung lässt sich durch die Senkrechte zur Tangente, die **Wellennormale**, angeben.

Die Ausbreitungsrichtung einer Welle wird von der Wellennormalen angezeigt.



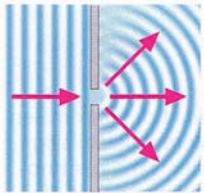
1 Reflexion von Wellen

**Arbeitsauftrag:** Wie erklärt man die Reflexion von Wellen mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips? Warum gilt das Reflexionsgesetz (Einfallswinkel = Ausfallswinkel)?

### Reflexion von Wellen

Wellen, die auf ein Hindernis treffen, ändern ihre Ausbreitungsrichtung, jedoch nicht ihre Wellenlänge. Besonders gut lässt sich das bei geraden Wellenfronten an einer geraden Grenzfläche darstellen. Werden die Wellennormalen vor und nach der Reflexion betrachtet, so lassen sich gleiche Winkel zum Lot auf die Grenzfläche feststellen. Abb. ► 1 zeigt die auf das Hindernis zulaufenden Wellenfronten zu verschiedenen Zeiten: Zunächst laufen die Wellenfronten 1, 2 und 3 auf das Hindernis zu. Zum Zeitpunkt  $t = T$  gelangt die erste Wellenfront an den Punkt A und erzeugt dort eine Elementarwelle. In der Zeit von T bis 2T läuft die Wellenfront 1 weiter bis zum Punkt B und erzeugt zwischen A und B Elementarwellen, die sich unterschiedlich weit ausbreiten. Deren Einhüllende ergibt die Wellenfront 1'. In der Zeit 2T bis 4T erzeugen auch die nachfolgenden Wellenfronten zwischen A und B und weiter über C und D Elementarwellen, deren Einhüllende sich jeweils durch die Wellenfronten 2' und 3' beschreiben lassen. Die Abstände zwischen den Wellenfronten sind konstant geblieben.

Das Huygens'sche Prinzip beschreibt die Reflexion von Wellen so, dass die Wellennormalen den Strahlen beim Reflexionsgesetz entsprechen.



4 Entstehen einer Kreiswelle

### Elementarwellen

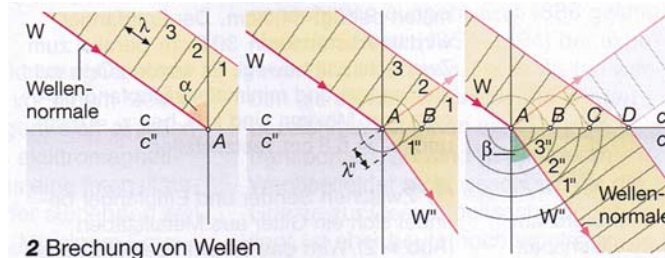
Eine Wasserwelle durchdringt eine Reihe kleiner Öffnungen nahezu ungehindert. Auch die Form einer kreisförmigen oder geraden Wellenfront wird nicht geändert. Treffen die Wellen dagegen nur auf eine einzige kleine Öffnung, so entstehen dahinter immer nur kreisförmige Wellen (Abb. ► 4). Die Wellenlänge vor und nach der Öffnung bleibt dabei konstant. Die Wasserteilchen in der Öffnung wirken wie ein punktförmiger Erreger. Bei vielen kleinen, gleichartigen und nebeneinander liegenden Öffnungen überlagern sich alle kreisförmigen Wellen wieder zu der ursprünglichen Welle. Jeder Punkt der Welle kann somit als Ausgangspunkt einer kreisförmigen Welle betrachtet werden, zugleich ist er aber auch durch die Überlagerung vie-

ler kreisförmiger Wellen entstanden. Diese Idee geht auf **Christian Huygens** (1629–1695) zurück. Die kreisförmigen Wellen werden als **Elementarwellen** bezeichnet, bei einer räumlichen Ausbreitung sind sie kugelförmig. Die Elementarwellen sind als Modell zu verstehen. Auf dieser Vorstellung beruht das folgende **Huygens'sche Prinzip** über die Ausbreitung von Wellen: Jeder Punkt einer Welle lässt sich als Ausgangspunkt einer Elementarwelle betrachten. Wellenfronten entstehen durch die Überlagerung vieler Elementarwellen; sie lassen sich als deren Einhüllende darstellen. Die Elementarwellen haben immer gleiche Frequenz und Wellenlänge wie die Welle, aus der sie entstanden sind oder die sie erzeugen.

### Die Wellennormale

Bei der Beobachtung von Wellen lässt sich ihre Ausbreitungsrichtung leicht erkennen. Bei Wellen mit geraden Wellenfronten steht die Ausbreitungsrichtung immer senkrecht zu den Wellenbergen oder -tälern. Kreisförmige oder kugelförmige Wellen gehen von einem punktförmigen Erreger aus, ihre Ausbreitung verläuft radial von diesem Erregerzentrum weg, d. h. auch ihre Ausbreitungsrichtung steht senkrecht zu den Wellenbergen und -tälern. Die jeweilige Richtung lässt sich durch die Senkrechte zur Tangente, die **Wellennormale**, angeben.

Die Ausbreitungsrichtung einer Welle wird von der Wellennormalen angezeigt.



2 Brechung von Wellen

**Arbeitsauftrag:** Was versteht man unter der „Brechung“ von Wellen? Kennt ihr Beispiele dafür? Wie erklärt man sie mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips?

### Brechung von Wellen

Wellen, die auf flaches Wasser treffen, breiten sich nicht mehr ungestört aus. Treffen gerade Wellenfronten auf den Bereich der geringeren Wassertiefe, so wird ihre Wellennormale abgelenkt, sie werden gebrochen. Dabei ist der Abstand zwischen zwei benachbarten Wellenfronten, die Wellenlänge, kleiner geworden. Abb. ► 2 zeigt die auf das flachere Wasser zulaufenden Wellenfronten zu verschiedenen Zeiten:

Zunächst laufen die Wellenfronten 1, 2 und 3 auf das Hindernis zu. Zum Zeitpunkt  $t = T$  gelangt die Wellenfront 1 an den Punkt A und erzeugt dort eine Elementarwelle, die sich im flacheren Wasser langsamer ausbreitet. Daher hat die Kreiswelle einen kleineren Radius als bei der Reflexion. In der Zeit von T bis 2T gelangt die Wellenfront 1 bis zum Punkt B und erzeugt zwischen A und B Elementarwellen, die sich unterschiedlich weit ausbreiten. Deren Einhüllende ergibt die Wellenfront 1''.

In der Zeit 2T bis 4T erzeugen auch die nachfolgenden Wellenfronten zwischen A und B und weiter über C Elementarwellen, deren Einhüllende sich jeweils durch die Wellenfronten 2'' und 3'' beschreiben lassen. Die Abstände zwischen den Wellenfronten sind konstant aber kleiner als vor der Störung. Das Huygens'sche Prinzip beschreibt die Brechung von Wellen so, dass die Wellennormalen den Strahlen beim Brechungsgesetz entsprechen.