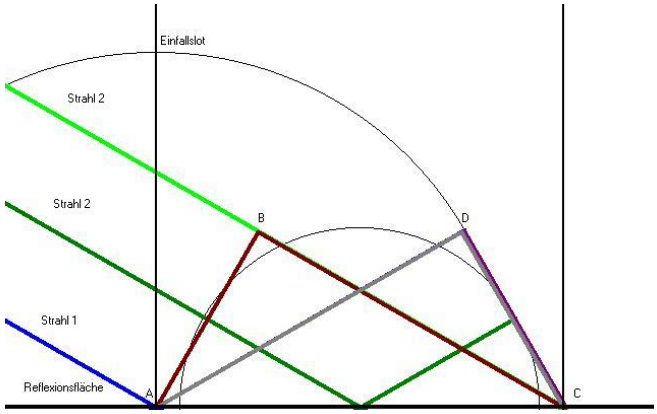
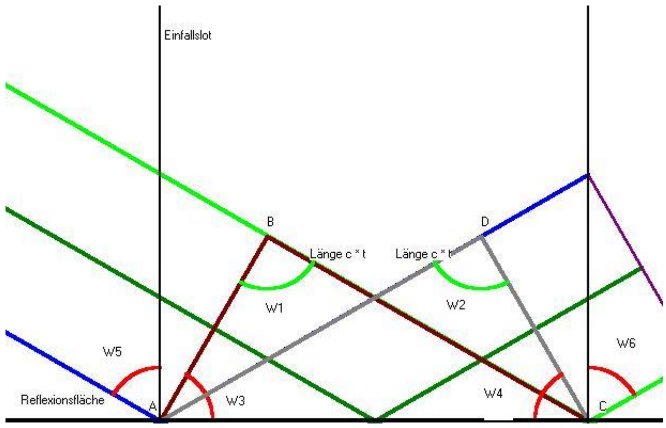
Reflexion und Brechung mit dem Huygens-Prinzip

Das Huygens-Prinzip: Jeder Punkt einer Wellenfront kann als Ausgangspunkt von Elementarwellen (Kreis- oder Kugelwellen) angesehen werden, die sich mit gleicher Geschwindigkeit und Wellenlänge wie die ursprüngliche Welle ausbreiten. Die Einhüllende aller Elementarwellen stellt die neue Wellenfront dar.

1. Reflexion mit dem Huygens-Prinzip



- Strahl 1 – 3 bezeichnen die Ausbreitungsrichtung der EM-Welle
- Senkrecht dazu steht die Wellenfront (z. B. AB)
- Zum Zeitpunkt t = 0 trifft die Wellenfront (Strahl 1) bei A auf die Reflexionsfläche
  → Huygens: von dort geht eine Elementarwelle aus
- Etwas später trifft Strahl 2 auf die Reflexionsfläche → Elementarwelle
- Zum Zeitpunkt t trifft Strahl 3 auf die Reflexionsfläche → Elementarwelle
- Huygens: Die Einhüllende dieser Elementarwellen stellt die neue Wellenfront dar: Dies ist hier die Tangente an die Kreise vom Punkt C aus: CD
- Senkrecht auf der Tangente CD steht der Radius der von A ausgehenden Elementarwelle r = AD



- In der Zeit t hat Strahl 3 den Weg von B nach C zurückgelegt: BC = c t
- In der Zeit t hat die von A ausgehende Elementarwelle denselben Weg (=Radius): AD =c t zurückgelegt.

- Betrachten wir Dreiecke ABC:
  - Der Winkel W1 beträgt 90° (Wellenfront ⊥ Strahl)
  - Für den Winkel W3 gilt:
    sin(W3) = BC/AC
    = c t / AC

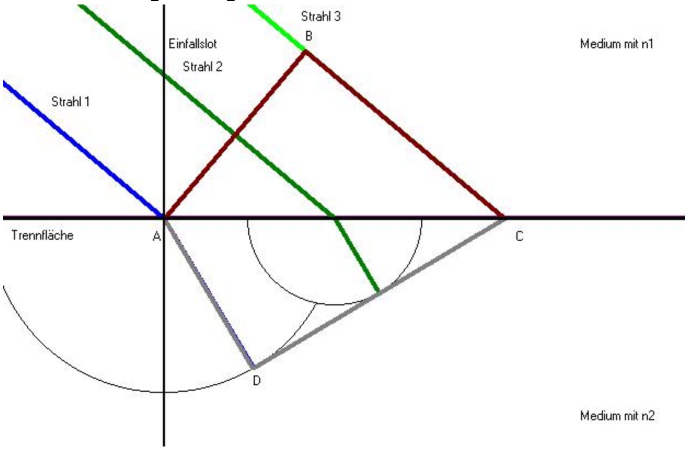
- In Dreieck ADC gilt:
  - Der Winkel W2 beträgt 90° (Tangente/ Wellenfront ⊥ Radius / Strahl)
  - Für den Winkel W4 gilt:
    sin(W4) = AD/AC = c t / AC

- Damit sind die Winkel W3 und W4 gleich groß: W3 = W4
- Der Winkel W3 lässt sich mit dem Einfallslot zu 90° ergänzen,
  der Winkel W5 lässt sich bis AB zu 90° ergänzen: Damit ist W3 = W5
- Der Winkel W4 lässt sich mit dem Einfallslot zu 90° ergänzen,
  der Winkel W6 lässt sich bis AB zu 90° ergänzen: Damit ist W4 = W6

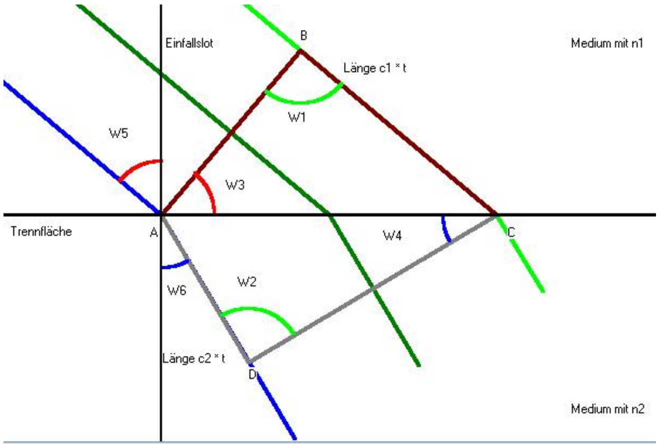
- Damit erhalten wir: Einfallswinkel (W5) und Ausfallswinkel (W6) sind gleich groß!

2. Brechung mit dem Huygens-Prinzip

- Im oberen Teil breitet sich die EM-Welle mit $c_1 = c/n_1$ aus.
- Unter der Trennfläche breitet sich die EM-Welle mit $c_2 = c/n_2$ aus.
- Strahl 1 – 3 bezeichnen die Ausbreitungsrichtung der EM-Welle
- Senkrecht dazu steht die Wellenfront (z. B. AB)
- Zum Zeitpunkt t = 0 trifft die Wellenfront (Strahl 1) bei A auf die Trennfläche
  → Huygens: von dort geht eine Elementarwelle aus
  (wir betrachten nur den Teil unterhalb der Trennfläche – oberhalb ergibt sich wieder eine Reflexion)
- Etwas später trifft Strahl 2 auf die Reflexionsfläche → Elementarwelle



- Zum Zeitpunkt t trifft Strahl 3 auf die Reflexionsfläche → Elementarwelle
- Huygens: Die Einhüllende dieser Elementarwellen stellt die neue Wellenfront dar:
  Dies ist hier die Tangente an die Kreise vom Punkt C aus: CD
- Senkrecht auf der Tangente CD steht der Radius der von A ausgehenden Elementarwelle r = AD
- In der Zeit t hat Strahl 3 den Weg von B nach C zurückgelegt:
  $BC = c_1 t$
- In der Zeit t legt die von A ausgehende Elementarwelle den Weg (=Radius) AD $=c_2$ t zurück.
- Betrachten wir Dreiecke ABC:
  - Der Winkel W1 beträgt 90° (Wellenfront ⊥ Strahl)
  - Für den Winkel W2 gilt: $\sin(W3) = BC/AC = c_1\, t\, /\, AC$



- In Dreieck ADC gilt:
  - Der Winkel W2 beträgt 90° (Tangente/ Wellenfront ⊥ Radius / Strahl)
  - Für den Winkel W4 gilt: $\sin(W4) = AD/AC = c_2\, t\, /\, AC$
- Damit gilt für die Winkel W2 und W4: $\dfrac{\sin(W3)}{\sin(W4)} = \dfrac{\frac{c_1 t}{AC}}{\frac{c_2 t}{AC}} = \dfrac{c_1 t}{c_2 t} = \dfrac{c_1}{c_2} = \dfrac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} = \dfrac{n_2}{n_1}$
- Der Winkel W3 lässt sich mit dem Einfallslot zu 90° ergänzen,
  der Winkel W5 lässt sich bis AB zu 90° ergänzen: Damit ist W3 = W5
- Der Winkel W4 lässt sich mit dem Einfallslot zu 90° ergänzen,
  der Winkel W6 lässt sich bis AB zu 90° ergänzen: Damit ist W4 = W6
- Damit gilt für den Einfallswinkel (W5 = α) und Brechungswinkel (W6 = β): $\dfrac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \dfrac{c_1}{c_2} = \dfrac{n_2}{n_1}$

Beispiel 1: $\alpha = 30°$; $n_1 = 1$ (Luft); $n_2 = 1{,}5$ (Wasser) → $\beta = 19{,}47°$
Beim Übergang ins „optisch dichtere" Medium findet eine Brechung zum Lot hin statt!

Beispiel 2: $\alpha = 30°$; $n_1 = 1{,}5$; $n_2 = 1$ → $\beta = 48{,}59°$
Beim Übergang ins „optisch dünnere" Medium findet eine Brechung vom Lot weg statt!

Beispiel 3: $\alpha = 70°$; $n_1 = 1{,}5$; $n_2 = 1$ → β = --
Bei großen Winkel findet kein Übergang ins „optisch dichtere" Medium statt: Totalreflexion!
Grenzwinkel α_G der Totalreflexion in diesem Fall ($n_1 = 1{,}5$; $n_2 = 1$): $\beta = 90°$ → $\alpha_G = 41{,}81°$