

# Optische Abbildung durch eine plane Grenzfläche

Axel Donges  
Fachhochschule und Berufskollegs NTA Prof. Dr. Grübler gGmbH  
Seidenstraße 12-35  
D-8316 Isny im Allgäu,  
E-mail: [Donges@nta-isny.de](mailto:Donges@nta-isny.de)

erschienen in: Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht 2/29 (2009), S. 88–89

## Zusammenfassung

An einer planen Grenzfläche zwischen zwei Medien wird das Licht so gebrochen, dass eine optische Abbildung mit  $B = G$  und  $b = \frac{n_2}{n_1} g$  vorliegt. Im Fall  $n_1 n_2 > 0$  ergibt sich ein virtuelles, im Fall  $n_1 n_2 < 0$  ein reelles Bild.

### 1. Herleitung der Abbildungsgleichungen

Wir betrachten die in Abbildung 1 dargestellte Situation. Die von einem Gegenstand (Größe  $G$ ) ausgehenden Lichtstrahlen werden an der Grenzfläche zwischen den Medien mit den Brechzahlen  $n_1$  und  $n_2$  so gebrochen, dass ein virtuelles Bild (Größe  $B$ ) entsteht. Das virtuelle Bild ist aufrecht und hat die gleiche Größe wie der Gegenstand.

$$B = G \tag{1}$$

Mit dem Brechungsgesetz

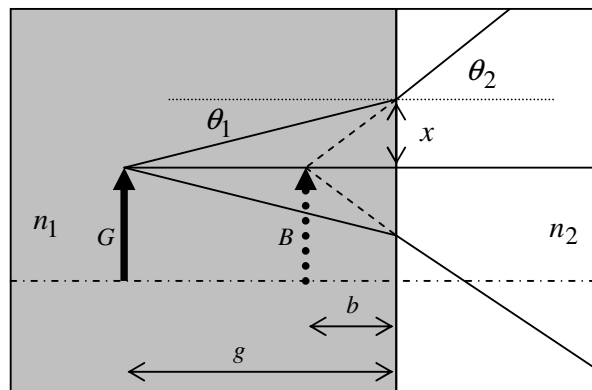


Abb. 1: Optische Abbildung durch eine plane Grenzschicht zwischen zwei Medien mit unterschiedlicher Brechzahl

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2) \quad (2)$$

sowie der Kleine-Winkel-Näherung

$$\tan \theta_i \approx \sin \theta_i \quad (i = 1, 2) \quad (3)$$

folgt (siehe Abb. 1) nach kurzer Überlegung für die Bildweite

$$b = \frac{n_2}{n_1} g . \quad (4)$$

## 2. Freihandexperiment

Für den Übergang von Wasser ( $n_1 = 1,33$ ) nach Luft ( $n_2 = 1,00$ ) berechnet sich mit Gleichung (4) die Bildweite zu  $b = 0,75g$ . Zur Demonstration dieses Effekts eignet sich das in Abb. 2 skizzierte Freihandexperiment [1].

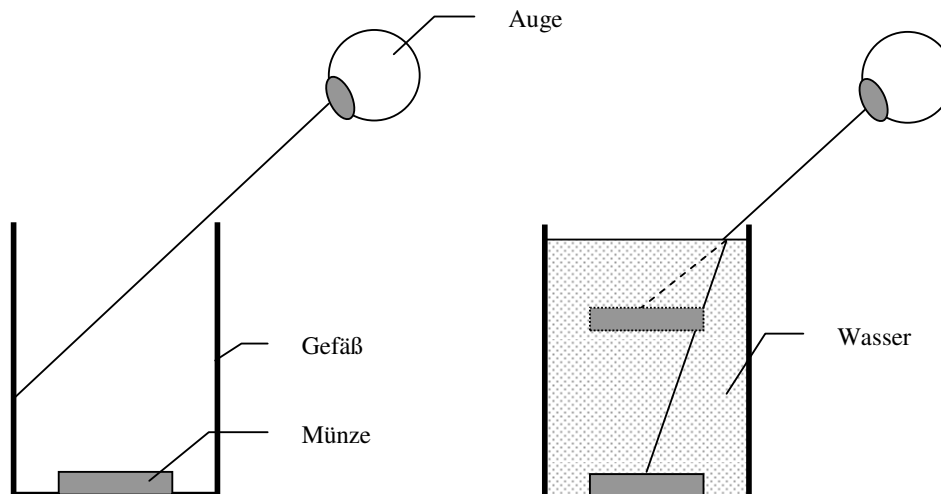


Abb. 2: Eine Münze, die auf dem Boden einer Tasse liegt, kann der Beobachter im links skizzierten Fall nicht sehen. Wird in die Tasse Wasser geschüttet, wird die Münze, bei unveränderter Blickrichtung, sichtbar.

## 3. Abbildung im Fall $n_1 n_2 < 0$

Formal spricht nichts dagegen, eine der beiden Brechzahlen negativ zu wählen. In diesem Fall folgt aus dem Brechungsgesetz (2), dass der Winkel  $\theta_2$  einen negativen Wert annimmt. Dies bedeutet, dass bei der Lichtbrechung ein- und ausfallender Strahl auf der gleichen Seite des Lots liegen (Abb. 3). Im Vergleich zu der in Abbildung 1 dargestellten Situation ergibt sich jedoch ein reelles Bild im gegenüberliegenden Medium 2. Die Gleichungen (1) und (4) gelten unverändert. Die Berechnung von  $b$  liefert jedoch eine negative Bildweite, d.h. das reelle Bild liegt rechts von der Grenzfläche.

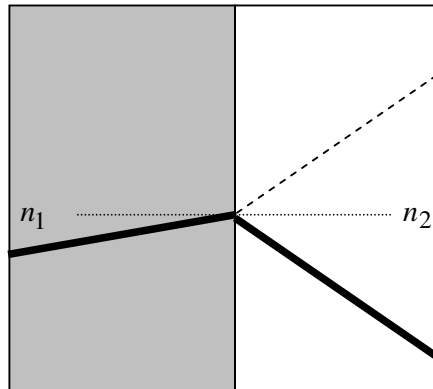


Abb. 3: Strahlengang bei Brechung im Fall  $n_1 n_2 < 0$

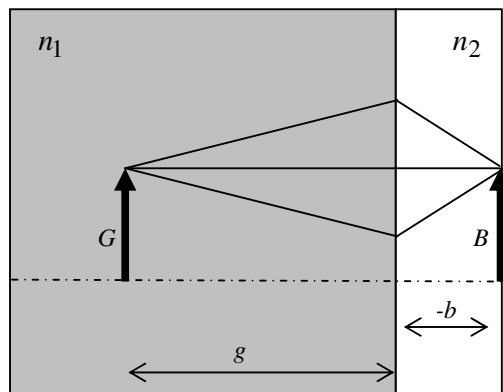


Abb. 4: Optische Abbildung durch eine plane Grenzfläche zwischen zwei Medien mit  $n_1 n_2 < 0$  ("flache Linse")

#### 4. Materialien mit negativer Brechzahl

Materialien mit negativer Brechzahl wurden bereits 1968 von dem sowjetischen Physiker Victor Veselago vorhergesagt und diskutiert [2]. Zu Beginn dieses Jahrtausends wurden Experimente publiziert [z.B. 3 - 4], die die Existenz von Materialien mit negativen Brechzahlen für Mikrowellen beweisen oder zumindest nahe legen. Zahlreiche Forschungsgruppen sind damit beschäftigt, auch für kürzere Wellenlängen entsprechende Materialien zu finden bzw. zu designen [5]. Es dürfte nur noch eine Frage der Zeit sein, bis auch im Sichtbaren so genannte Metamaterialien mit negativen Brechzahlen realisiert werden und „flache Linsen“ gebaut werden können.

#### Literatur

- [1] F. Bader, F. Dorn: Physik - Mittelstufe. Hannover: Schroedel Verlag (1992) S. 206
- [2] V.G. Veselago, Sov. Phys. Usp. 10, 509 (1968)

[3] J. B. Pendry, Nature 423, 22 (2003)

[4] C. G. Parazzoli et al.: Experimental Verification and Simulation of Negative Index of Refraction Using Snell's Law. Physical Review Letters 90, 107401 (2003)

[5] G. Dolling, M. Wegener, S. Linden: Materialien mit negativem Brechungsindex: Der falsche Knick im Licht. Physik in unserer Zeit 1/2007 S.24-29