

# Optik

## Strahlenoptik



© Doris Walkowiak 2008

### Gliederung

- [Modell Lichtstrahl](#)
- [Reflexion](#)
- [Brechung](#)
- [Totalreflexion](#)
- [Bildentstehung an Linsen](#)
- [Optische Geräte](#)
- [Aufgaben](#)
- [Links](#)
- [Quellen](#)
- [Lösungen](#)



© Doris Walkowiak 2008

### Modelle in der Physik

- vereinfachte Darstellungen der Wirklichkeit
- dienen der besseren Veranschaulichung
- Wesentliches wird hervorgehoben
- Unwesentliches wird vernachlässigt

## Was ist ein Modell?

© Doris Walkowiak 2008

### Modell Lichtstrahl

- Das Modell Lichtstrahl dient als gedankliches und zeichnerische Hilfsmittel, um optische Erscheinungen und Vorgänge mit geometrischen Geraden verhältnismäßig einfach beschreiben zu können.
- Bei einem schmalen Lichtbündel betrachtet man nur seine geradlinige Achse.



© Doris Walkowiak 2008

### Modell Lichtstrahl

- Ein breiteres Lichtbündel wird dargestellt, indem man die seitlich Begrenzungslinien einzeichnet
- Der Lichtstrahl gibt die Richtung der Lichtausbreitung an.
- Das Modell sagt aber nichts über das Wesen des Lichts aus.



© Doris Walkowiak 2008

### Licht und Schatten

- [Kern und Halbschatten](#)
- [Schattengröße](#)
- [Mondphasen](#)
- [Sonnen- und Mondfinsternis](#)

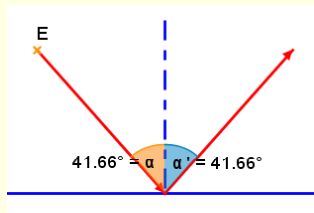



© Doris Walkowiak 2008

## Reflexionsgesetz

- [Reflexion an verschiedenen Flächen](#)
- [Reflexionsgesetz](#)

Trifft ein Lichtstrahl auf einen ebenen Spiegel, so wird er reflektiert.  
Es gilt das Reflexionsgesetz:

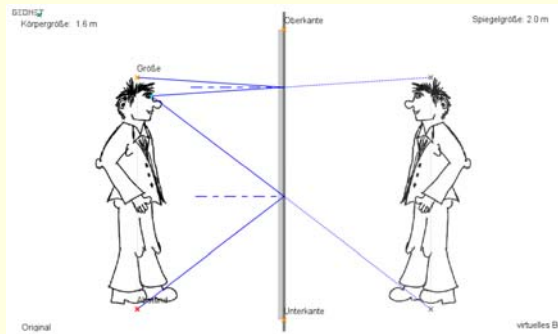


Bei einer Reflexion am ebenen Spiegel ist der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel:  $\alpha = \alpha'$ . Einfallender Strahl, reflektierter Strahl und Lot liegen in einer Ebene.



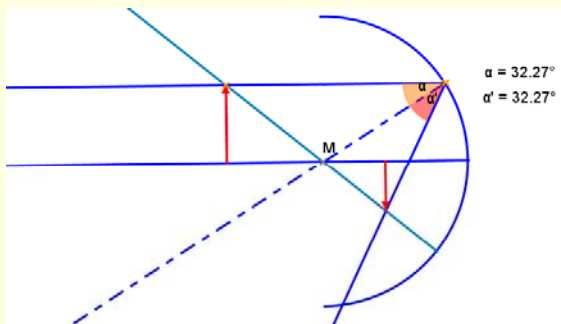
© Doris Walkowiak 2008

## Bildentstehung am ebenen Spiegel



© Doris Walkowiak 2008

## Reflexion am Hohlspiegel



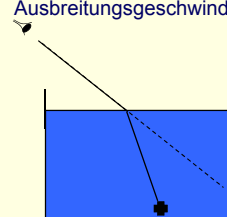
[Wölbspiegel](#)



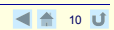
© Doris Walkowiak 2008

## Brechungsgesetz

Brechung ist die Änderung der Ausbreitungsrichtung des Lichtes beim Durchgang durch die lichtdurchlässige Grenzfläche zweier Medien, in denen es verschiedene Ausbreitungsgeschwindigkeiten besitzt.



Betrachtet man den Strohhalm schräg von oben, so erscheint dieser geknickt.



© Doris Walkowiak 2008

## Brechungsgesetz

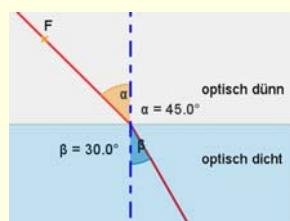
Bei einem Übergang von einem optisch dünneren zu einem optisch dichteren Medium wird das Licht zum Lot hin gebrochen ( $\alpha > \beta$ ).

$$\text{Es gilt: } \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

( $\alpha \neq 0^\circ$ )

$$\text{Brechzahl: } n = \frac{c_0}{c}$$

Übergang Vakuum ( $c_0$ )  $\rightarrow$  Medium ( $c$ )



© Doris Walkowiak 2008

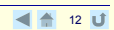
## Beispielaufgabe

Berechnen Sie den Brechungswinkel beim Übergang von Luft in Wasser, wenn  $\alpha = 32^\circ$  ist!

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

$$\sin \beta = \sin \alpha \cdot \frac{c_2}{c_1} = \sin 32^\circ \cdot \frac{2,25 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,997 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

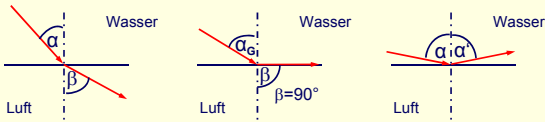
$$\beta = 23,4^\circ$$



© Doris Walkowiak 2008

## Totalreflexion

Beim Übergang von einem optisch dichten zu einem optisch dünneren Medium wird das Licht vom Lot weg gebrochen ( $\alpha < \beta$ ). [dicht → dünn](#)



Der Einfallswinkel, bei dem der gebrochene Strahl entlang der Grenzfläche verläuft ( $\beta = 90^\circ$ ), heißt Grenzwinkel  $\alpha_G$ . Vergrößert man den Einfallswinkel weiter, wird das Licht nicht mehr gebrochen, sondern total reflektiert. [Animation](#)



© Doris Walkowiak 2008

## Beispielaufgabe

Ab welchem Einfallswinkel tritt beim Übergang von Wasser zu Luft Totalreflexion auf?

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

$$\beta = 90^\circ \Rightarrow \sin \alpha = \frac{c_1}{c_2} = \frac{2,25 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,997 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,75$$

$$\alpha = 48,7^\circ$$

Kronglas (leicht) - Luft ( $41,6^\circ$ )

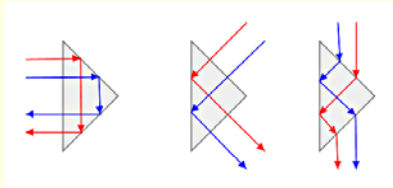
Flintglas (leicht) - Luft ( $38,4^\circ$ )



© Doris Walkowiak 2008

## Totalreflexion

[Prisma](#)



Anwendungen:

- Umkehrprismen in Ferngläser
- Glasfaserkabel [Folie](#)
- Wie sieht ein Fisch seine Umwelt? [Folie](#)

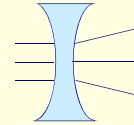
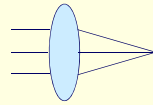


© Doris Walkowiak 2008

## Linsen

[Sammellinsen \(konvex\)](#)

[Zerstreuungslinsen \(konkav\)](#)

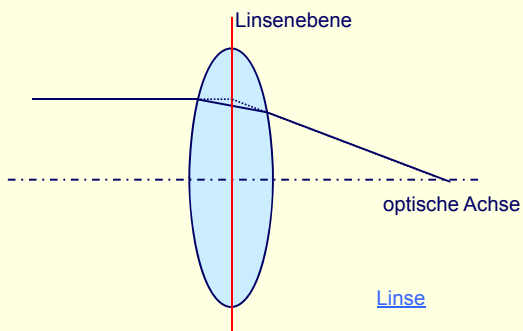


[Linsenarten](#)



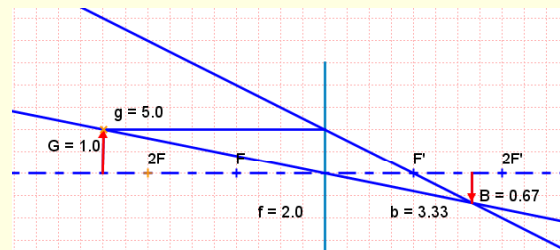
© Doris Walkowiak 2008

## Strahlengang an Sammellinsen



© Doris Walkowiak 2008

## Bildentstehung an Linsen

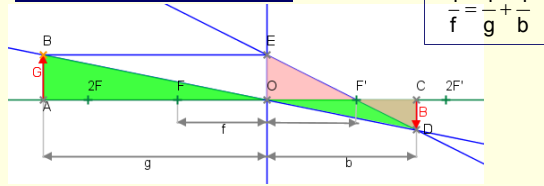


$$\text{Abbildungsmaßstab: } A = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$



© Doris Walkowiak 2008

## Abbildungsgleichung



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

Herleitung:

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad (\triangle CDO \sim \triangle ABO)$$

$$\frac{B}{G} = \frac{b-f}{f} \quad (\triangle F'EO \sim \triangle F'CD)$$

$$\Rightarrow \frac{b}{g} = \frac{b-f}{f}$$

$$\frac{b}{g} = \frac{b}{f} - 1 \quad | : b$$

$$\frac{1}{g} = \frac{1}{f} - \frac{1}{b}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

© Doris Walkowiak 2008

## Aufgabe

geg.:  $f = 3 \text{ cm}$   
 $G = 2 \text{ cm}$   
 $g = 7 \text{ cm}$

ges.:  $B, b$   
 Zeichnung

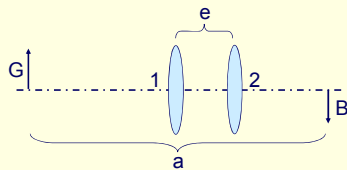
$$\frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{g} = \frac{1}{3 \text{ cm}} - \frac{1}{7 \text{ cm}} \quad b = 5,25 \text{ cm}$$

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad B = \frac{G \cdot b}{g} = \frac{2 \text{ cm} \cdot 5,25 \text{ cm}}{7 \text{ cm}} = 1,5 \text{ cm}$$

© Doris Walkowiak 2008

## Brennweitenbestimmung nach Bessel

optische Bank mit fester Länge  $a$  ( $a > 4f$ )



Es gibt genau zwei Linsenstellungen 1 und 2, so dass auf dem Schirm ein scharfes Bild erzeugt wird.

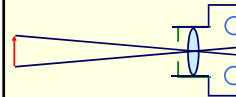
$$f = \frac{a^2 - e^2}{4a}$$

[Experiment](#)

© Doris Walkowiak 2008

## Kamera und Auge

[Kamera](#)

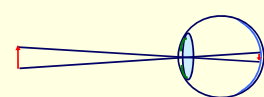


Linse: Scharfstellen durch Abstandsänderung

Blende: Regulierung der Lichtmenge

Film: Bildentstehung

[Auge](#)



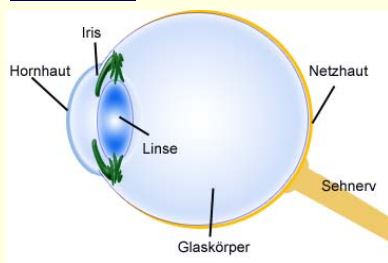
Linse: Scharfstellen durch Wölbung oder Abflachen

Iris: Regulierung der Lichtmenge (Blende)

Netzhaut: Bildentstehung

© Doris Walkowiak 2008

## Das Auge



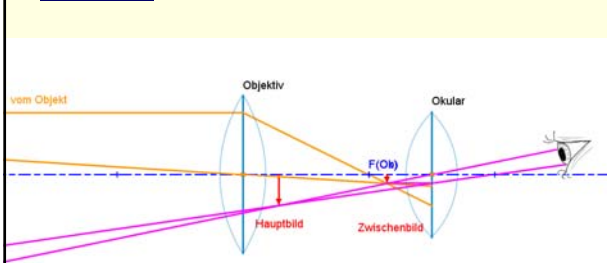
• [Sehfehler](#)

• [Diaprojektor](#)

• [Tageslichtprojektor](#)

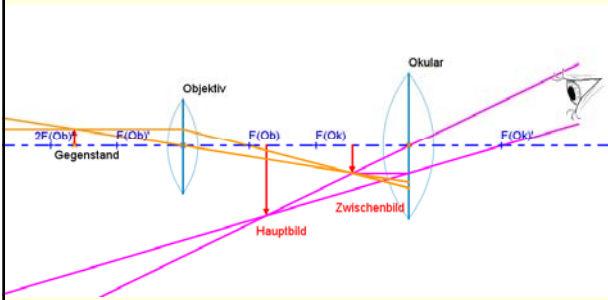
© Doris Walkowiak 2008

## Fernrohr



© Doris Walkowiak 2008

## Mikroskop



weitere optische Geräte: [LeiFi](#)



- Ein Lichtstrahl fällt aus der Luft kommend mit dem Einfallswinkel  $\alpha = 50^\circ$  schräg auf einen Glaskörper (leichtes Kronglas). Berechnen Sie den Brechungswinkel! (30,6°)
- Was versteht man unter Totalreflexion und unter welchen Bedingungen entsteht diese? Berechnen Sie den Grenzwinkel der Totalreflexion an der Grenzfläche schweres Flintglas – Luft! (34,8°)
- Auf zwei Prismen aus schwerem Flintglas fällt Licht. Entscheiden Sie für jedes der beiden Prismen, ob an der Grenzfläche Glas – Luft das Licht gebrochen oder total reflektiert wird! Begründen Sie! Zeichnen Sie den weiteren Strahlenverlauf durch die Prismen und berechnen Sie die dazu notwendigen Winkel!



[Lösung](#)

- Geben Sie eine physikalische Deutung der Beziehung  $B/G = 1!$  Ermitteln Sie die Brennweite einer Linse für diesen Fall, wenn das Bild 10 cm hinter der Linsenebene scharf abgebildet wird!
- Eine Pflanze, welche 1,5 m entfernt ist, soll mit einer Kamera, deren Objektiv eine Brennweite von 4,5 cm hat, scharf abgebildet werden. Berechnen Sie die Bildweite! (4,64 cm)
- Ermitteln Sie konstruktiv und rechnerisch die Bildgröße, wenn das Original 2 cm groß ist, sich in einem Abstand von 3 cm von der Linse befindet und die Brennweite der Sammellinse 5 cm beträgt. (-5 cm)

[Lösungen 4-6](#)

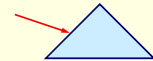


- Ein Lichtbündel fällt aus Luft kommend mit dem Einfallswinkel  $\alpha$  schräg auf einen Glaskörper. Ändert sich der Brechungswinkel  $\beta$ , wenn Wasser über den Glaskörper geschichtet wird und  $\alpha$  gleich bleibt?
- Warum werden bestimmte Prismen auch Umkehrprismen genannt?
- Wie groß ist der Durchmesser des Kreises, durch den ein 12 m unter Wasser befindlicher Taucher den Himmel sehen kann? (27,4 m)
- \* Durchdringt ein Lichtstrahl eine planparallele Glasplatte, so tritt eine Parallelverschiebung des Lichtstrahls auf. Wie groß ist diese, wenn  $\alpha = 45^\circ$ ,  $d = 5$  cm und  $n = 1,5$ ? (1,65 cm) [Lösungen 7 - 10](#)
- Geben Sie eine physikalische Deutung für die Beziehungen  $B/G > 1$  und  $B/G < 1$ !
- Informieren Sie sich über Aufbau und Wirkungsweise von Auge (inkl. Fehlsichtigkeit), Kamera, Diaprojektor und Polyux! ([LeiFi](#))
- Wie kann man bei Fernrohren eine Umkehrung des Bildes erreichen?
- \* Eine Kleinbildkamera mit Normalobjektiv ( $f = 50$  mm) ist, auf einem Stativ befestigt, am Straßenrand aufgestellt. Im rechten Winkel zu ihrer optischen Achse fährt in der Entfernung 12 m ein Motorrad vorbei. Bei einer Belichtungszeit von 1/250 s hinterlässt ein charakteristischer Punkt des Motorradfahrers auf dem entwickelten Film eine Spur von 0,24 mm Länge. Entscheiden Sie durch Rechnung, ob sich der Motorradfahrer an die Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h gehalten hat! [Lösung](#)



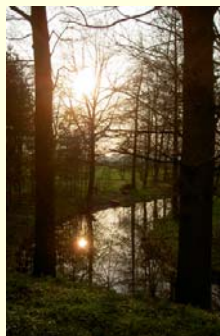
- Das Objektiv einer Kamera mit  $f = 5$  cm ist auf eine Objektentfernung von 50 cm eingestellt. In welchem Verhältnis stehen Bild- und Objektgröße zueinander? (1:9)
- Wie weit muss eine 1,75 m große Person vom Objektiv ( $f = 5$  cm) einer Kleinbildkamera mindestens entfernt sein, wenn sie auf einem 24 mm x 36 mm großen Film (Hochformat) vollständig abgebildet werden soll? (2,48 m)
- Welche Brennweite muss das Objektiv einer Kamera haben, wenn ein in 60 cm Entfernung befindlicher Gegenstand in natürlicher Größe abgebildet werden soll?
- geg.:  $f = 5$  cm  
 $g = 3,5$  cm  
 $G = 2$  cm  
ges.: B (6,67 cm)
- geg.:  $G = 1$  cm  
 $g = 5$  cm  
 $B = 1,5$  cm  
ges.: f (3 cm)  
b (7,5 cm)
- \*\*geg.: rechtwinkliges gleichschenkliges Prisma (leichtes Kronglas)  
Hypotenuse = 10 cm  
 $\alpha_1 = 30^\circ$  (fällt in der Mitte einer Kathete ein)  
ges.: vollständiger Strahlenverlauf (rechnerisch und Zeichnung)

[Lösung](#)



## Links

- [Kreuzwörtertsel](#)
- [optische Täuschungen](#)
- [Formeln](#)



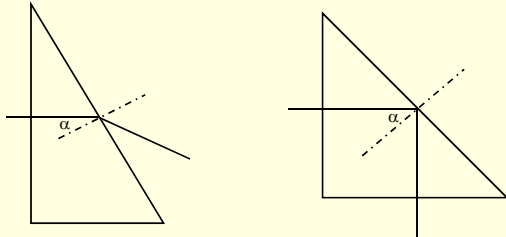
## Quellen

- [Zentrale für Unterrichtsmedien](#)
- [Pitty](#)
- [LeiFi Physik](#)
- [Applets von Walter Fendt](#)
- Lindner: Physikalische Aufgaben, 18. Auflage, VEB Fachbuchverlag Leipzig 1978



## Lösungen

zu 3.



$$\alpha = 30^\circ < \alpha_G = 34,8^\circ \Rightarrow \text{Brechung}$$

$$\beta = 61,3^\circ$$

$$\alpha = 45^\circ > \alpha_G = 34,8^\circ$$

$$\Rightarrow \text{Totalreflexion}$$



© Doris Walkowiak 2008

## Lösungen

zu 4.

Das Original steht in 2F → Das Bild steht in 2F' → Die Brennweite beträgt 5 cm.

$$\text{zu 5. } \frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{g} = \frac{1}{4,5\text{cm}} - \frac{1}{150\text{cm}} \quad b = 4,64\text{cm}$$

zu 6. Es entsteht ein virtuelles Bild.

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{g} = \frac{1}{5\text{cm}} - \frac{1}{3\text{cm}} \quad b = -7,5\text{cm}$$

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad B = \frac{2\text{cm} \cdot (-7,5\text{cm})}{3\text{cm}} = -5\text{cm}$$



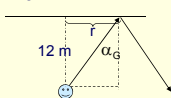
© Doris Walkowiak 2008

## Lösungen

7. Nein, wie sich an einer Zeichnung leicht zeigen lässt.

8. Man kann z. B. rechtwinklige dreiseitige Prismen zur Umkehrung des Lichtweges nutzen.

9.

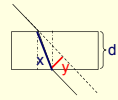


$$\tan \alpha_G = \frac{r}{12\text{m}}$$

$$r = 12\text{m} \cdot \tan 48,6^\circ = 13,6\text{m}$$

$$d = 27,2\text{m}$$

10.



$$\beta = 28,13^\circ \quad \cos \beta = \frac{d}{x} \Rightarrow x = 5,67\text{cm}$$

$$\sin(45^\circ - \beta) = \frac{y}{x} \Rightarrow y = 1,65\text{cm}$$



© Doris Walkowiak 2008

## Lösungen

zu 14.

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{g} = \frac{1}{5\text{cm}} - \frac{1}{1200\text{cm}} \quad b = 5,021\text{cm}$$

$$G = \frac{g \cdot B}{b} = \frac{1200\text{cm} \cdot 0,024\text{cm}}{5,021\text{cm}} = 5,736\text{cm}$$

$$v = \frac{s}{t} = \frac{0,05736\text{m}}{1/250\text{s}} = 14,34 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 51,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} \quad \text{NEIN!}$$



© Doris Walkowiak 2008

## Lösungen

zu 20.

Länge der Kathete:  
 $a^2 + a^2 = 100 \Rightarrow a = 7,1\text{cm}$   
 (zum Zeichnen)

Brechungswinkel  $\beta_1$ :

$$\sin \alpha_1 = \frac{c_1}{c_2} = \frac{2,997 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,99 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \quad \beta_1 = 19,3^\circ$$

Einfallswinkel  $\alpha_2$ :

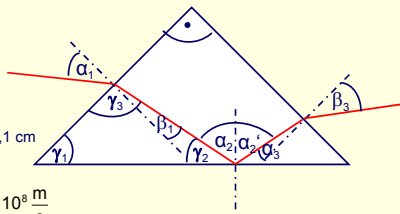
$$\alpha_2 = 90^\circ - \gamma_2$$

$$\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 = 180^\circ \quad \gamma_2 = 180^\circ - 45^\circ - (90^\circ + \beta_1) = 25,7^\circ \quad \alpha_2 = 64,3^\circ$$

Test auf Totalreflexion:  $\alpha_G = 41,5^\circ < \alpha_2 \Rightarrow \text{Totalreflexion}$

$$\alpha_3 = 180^\circ - 25,7^\circ - 45^\circ - 90^\circ = 19,3^\circ = \beta_1 \text{ (ähnliche Dreiecke)} < \alpha_G$$

Brechungswinkel  $\beta_3$ :  $\beta_3 = \alpha_1 = 30^\circ$



© Doris Walkowiak 2008