

3.3 Optik – Brechung und Reflexion

Exkurs Winkel

► Beachte: Voller Winkel = 360°

1° Grad	$1^\circ = 60'$
$1'$ Minute	$1', 1^\circ = 6'$
$1''$ Sekunde	$0,04^\circ = 0,6' = 36''$
	$1' = 60'' \quad 0,1' = 6''$

Sekunde wird ~~seiner~~ Unterteilt

$$\alpha = 57^{\circ} 26' 38''$$

$$\beta = 34^{\circ} 48' 57''$$

$$\alpha + \beta = 91^{\circ} 74' 95'' = 92^{\circ} 15' 35''$$

$$\alpha - \beta = 22^{\circ} 37' 47''$$

$$3 \cdot \alpha = 171^{\circ} 78' 114'' = 172^{\circ} 19' 54''$$

$$\frac{\alpha}{4} = \frac{57 : 4 = 14^{\circ}}{17}$$

1 Rest

$$26' + 60'$$

$$\frac{86' : 4 = 21'}$$

$$\frac{06}{2 \text{ Rest}}$$

$$38'' + 120''$$

$$\frac{158''}{4}$$

$$= 39,5''$$

$$\alpha \text{ in Grad: } 57^{\circ} 26' 38''$$

$$\frac{30}{60} = 0,63'$$

$$\frac{26,63}{60} = 0,4438$$

od:

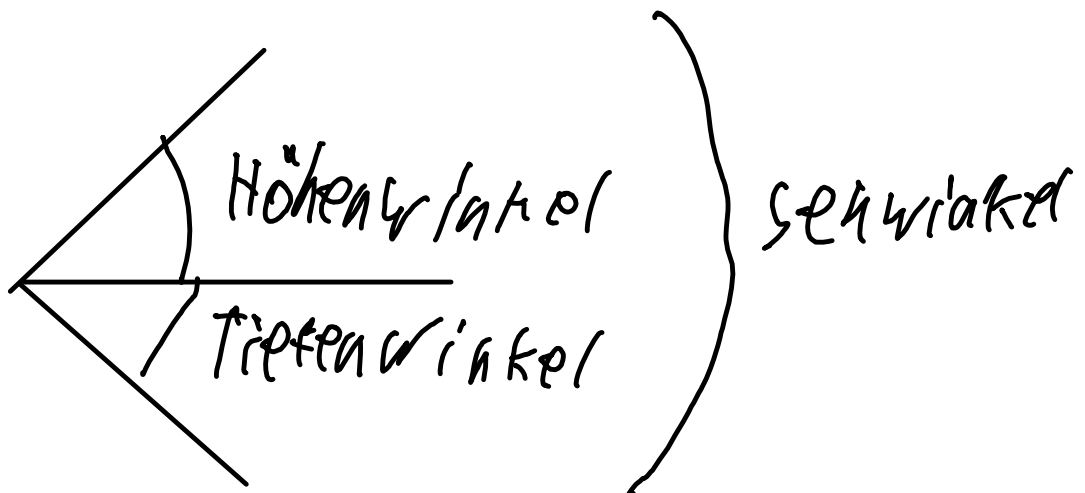
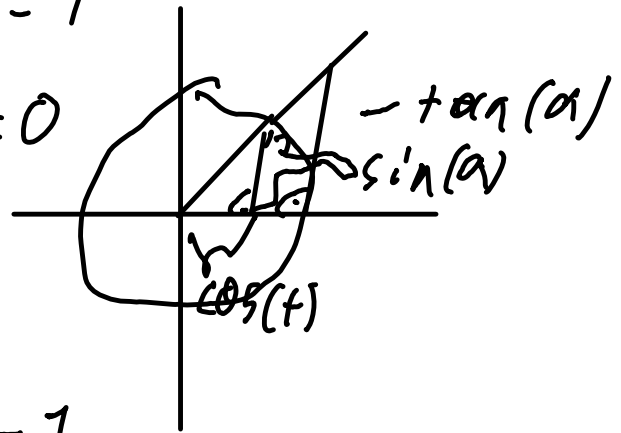
$$57 + \frac{26}{60} + \frac{38}{3600} = 57,4438^{\circ}$$

$$\sin(0) = 0 \quad \sin(90) = 1$$

$$\cos(0) = 1 \quad \cos(90) = 0$$

$$\tan(\alpha) = \frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)}$$

$$\sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha) = 1$$



Exkurs Winkelfunktionen

Exkurs Winkelfunktionen

- ▶ ARCUS FUNKTIONEN:

Exkurs Winkelfunktionen

- ▶ Wichtig:

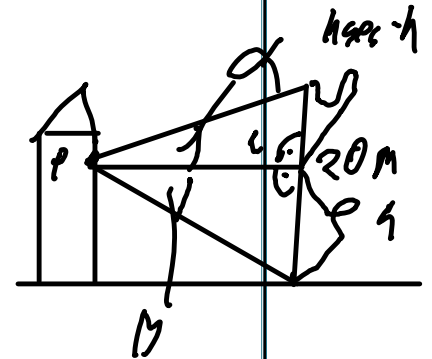
Exkurs Winkelfunktionen

- Bsp: Auf einer horizontalen Ebene steht ein Haus und ihm gegenüber ein 20m hoher Mast. Von einem Fenster des Hauses (Beobachtungspunkt P) sieht man die Spitze des Mastes unter dem Höhenwinkel $\alpha = 8,5^\circ$, und dessen Fußpunkt unter dem Tiefenwinkel $\beta = 2,9^\circ$. Berechne, wie hoch der Beobachtungspunkt über der Ebene des Fußpunktes liegt und wie weit der Beobachtungspunkt P vom Mast entfernt ist? Skizziere den Sachverhalt! (Lösung: $h = 5,1\text{m}$ und $l \approx 100\text{m}$)

$$\text{I: } \tan(\alpha) = \frac{h_{\text{ges}} - h}{l} \rightarrow l = \frac{h_{\text{ges}} - h}{\tan(\alpha)}$$

$$\text{II: } \tan(\beta) = \frac{h}{l} \rightarrow l = \frac{h}{\tan(\beta)}$$

$$\frac{h_{\text{ges}} - h}{\tan(\alpha)} = \frac{h}{\tan(\beta)} \quad | \cdot \tan(\alpha) \cdot \tan(\beta)$$

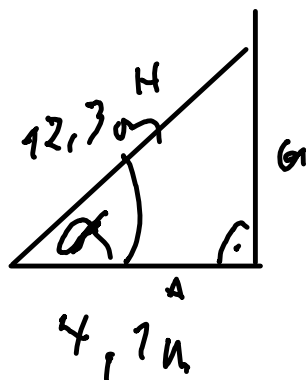


$$(h_{\text{ges}} - h) \cdot \tan(\beta) = h \cdot \tan(\alpha) \quad \begin{aligned} h_{\text{ges}} \cdot \tan(\beta) - h \cdot \tan(\beta) \\ = h \cdot \tan(\alpha) \quad | + h \cdot \tan(\beta) \end{aligned}$$

$$h_{\text{ges}} \cdot \tan(\beta) = h \cdot \tan(\alpha) + h \cdot \tan(\beta)$$

Exkurs Winkelfunktionen

- Bsp: Welchen Winkel schließt eine 12,3m lange, an einer Wand lehende Leiter mit dieser ein, wenn der Fuß 4,1m von der Mauer entfernt absteht.



$$\frac{A}{H} = \cos(\alpha)$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{4,1\text{m}}{12,3\text{m}}\right) \approx 70,52^\circ$$

$$\frac{h_{\text{ges}} \cdot \tan(\beta)}{\tan(\alpha) + \tan(\beta)} = h$$

Exkurs Winkelfunktionen

- ▶ Bsp: Auf einer schiefen Ebene liegt eine Last.

Es sei $m = 20\text{kg}$ ($g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$) und $\alpha = 28,2^\circ$. Wie groß ist die Normalkraft und die Hangabtriebskraft?

176,26N

Exkurs Winkelfunktionen

- ▶ Bsp: Fortsetzung: Wie groß ist die Haftreibungskraft, wenn $\mu = 0,4$ ist?

N Kraft $\cdot \mu = 70,5$

Weiter Aufgaben zu Winkel und Winkelfunktionen

- ▶ Siehe Übungszettel 03_03_a und 03_03_b

Brechung

- ▶ Video:
 - 03_03a Lichtbrechung und Trugbilder
 - 03_03b Brechung der Lichtstrahlen Alpha Lernen

Brechung

Die Lichtgeschwindigkeit in einem durchsichtigen Medium wie Luft Wasser oder Glas ist geringer als die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum
Brechzahl n : $(\approx 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s})$

$$n = \frac{c}{c_n} \quad \text{Wichtige Brechzahlen!}$$

$$n_{\text{Wasser}} \approx 1,33$$

$$n_{\text{Luft}} \approx 1,0003$$

Brechung

Brechung

Medium 1

2

1

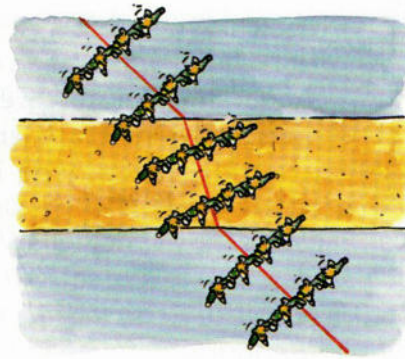
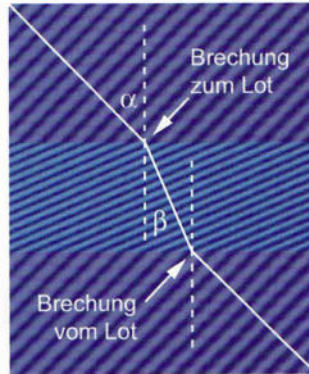


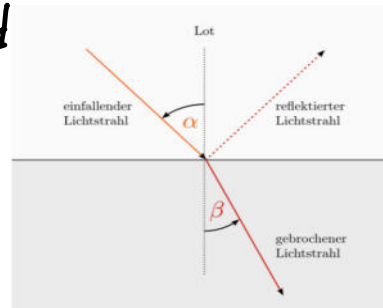
Abb. 16.14: Links: Brechung eines Strahls. Im mittleren Medium ist die Geschwindigkeit kleiner. Deshalb kommt es zuerst zu einer Brechung zum Lot und dann zu einer vom Lot. Rechts: Analogie mit der Menschenkette (F11). Weil man sich im Matsch langsamer bewegt, schwenkt die Kette zuerst zum Lot, dann wieder vom Lot.

Brechung

Ein Stoff oder ein Medium in dem die Lichtgeschwindigkeit kleiner ist heißt optisch dichteres Medium.

Beim Übergang optisch dünneres Medium \rightarrow optisch dichteres Medium wird das Licht zum Lot gebrochen.

($\alpha > \beta$)



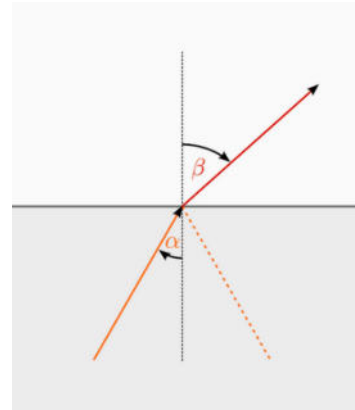
\leftarrow dünn (z.B. Luft)

\leftarrow dicht (z.B. Wasser)

Brechung
Umgekehrt - beim Übergang dicht \rightarrow dünn
wird das Licht vom Lot
gebrochen. ($\alpha < \beta$)

dünn \rightarrow

dicht \rightarrow



Brechungsgesetz

- Das Snellius'sche Brechungsgesetz (kurz Brechungsgesetz) lautet:

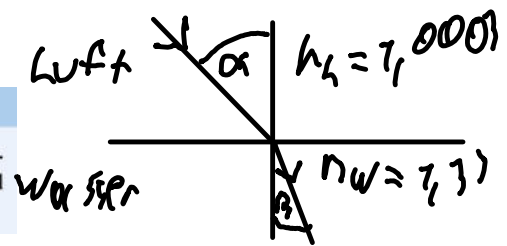
$$n_1 \cdot \sin(\alpha) = n_2 \cdot \sin(\beta)$$

Brechungsgesetz

Beispiel:

Beispiel 28.3: Brechung des Lichts von Luft zu Wasser

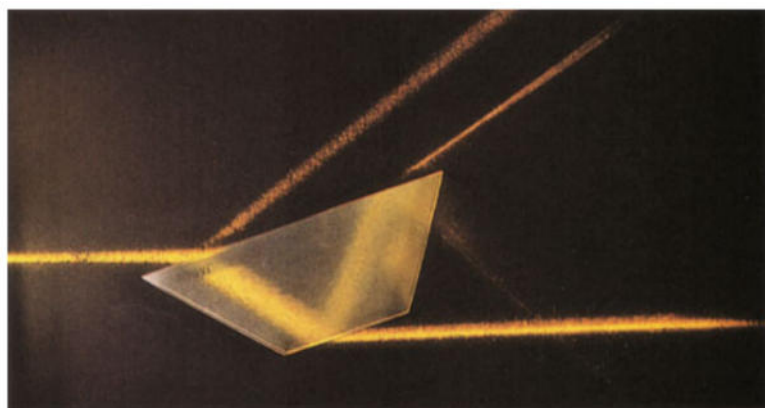
Ein Lichtstrahl tritt aus der Luft unter einem Einfallswinkel von $45,0^\circ$ in Wasser ein. Dessen Brechzahl beträgt 1,33. Wie groß ist der Brechungswinkel?



$$n_L \cdot \sin(\alpha) = n_W \cdot \sin(\beta)$$

$$\sin\left(\frac{n_L \cdot \sin(\alpha)}{n_W}\right) = 32,12^\circ$$

Brechungsgesetz



Reflexionen und Brechungen eines Lichtstrahls, der auf ein Glasprisma trifft.
(© Richard Megna/Fundamental Photographs.)

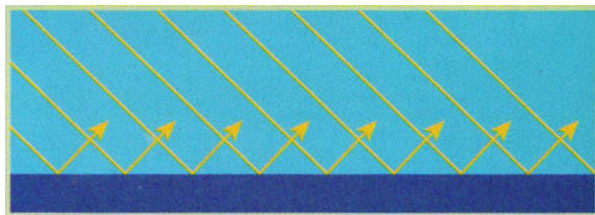
Reflexion

Reflexionen entstehen, wenn das Licht zurückgeworfen wird.

Ist die Fläche glatt, dann ist die Reflexion regelmäßig. Man spricht von Spiegelreflexion



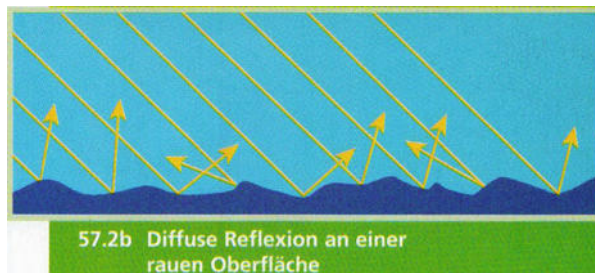
57.1 Spiegelbild im Wasser



57.2a Regelmäßige Reflexion an einer glatten Oberfläche

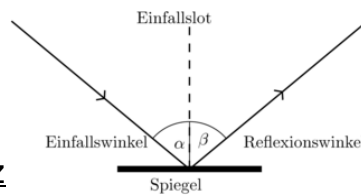
Reflexion

Rauhe Oberflächen reflektieren das Licht in verschiedene Richtungen
diffuse Reflexion



57.2b Diffuse Reflexion an einer rauen Oberfläche

Reflexionsgesetz



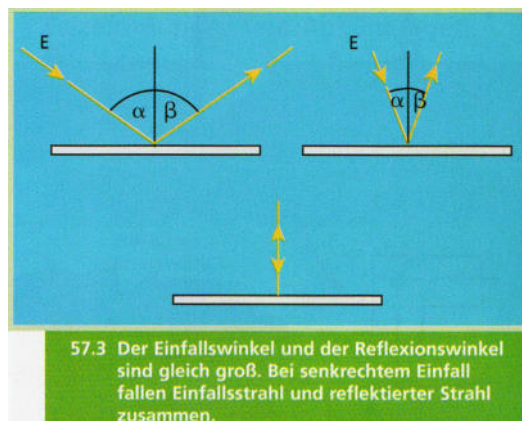
$$\alpha = \beta$$

Das Reflexionsgesetz

Einfallswinkel = Ausfallswinkel

Reflexionsgesetz

- ▶ Wenn das Licht senkrecht auf die Spiegelfläche trifft (also $\alpha = 0^\circ$ ist), dann wird der Strahl in sich selbst reflektiert ($\beta = 0^\circ$). Siehe Abb. 57.3



Relative Intensität von reflektiertem und durchgelassenem Licht

- ▶ Der Anteil der Lichtintensität, der an einer Grenzfläche (z.B. zwischen Luft und Glas) reflektiert wird, hängt auf komplizierte Weise von mehreren Größen ab: vom Einfallswinkel, von der Orientierung des elektrischen Feldvektors der Welle und von den Brechzahlen der beiden Medien. Für den Spezialfall des senkrechten Lichteinfalls ($\alpha = \beta = 0^\circ$) ist die Intensität der reflektierten Wellen gegeben durch:

$$\text{▶ } I = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \cdot I_0$$

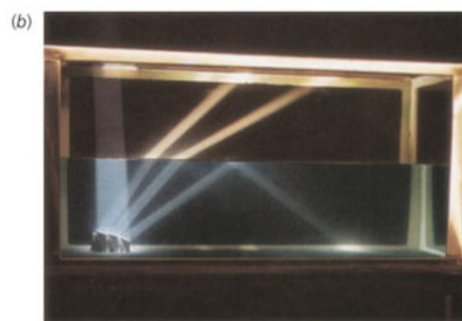
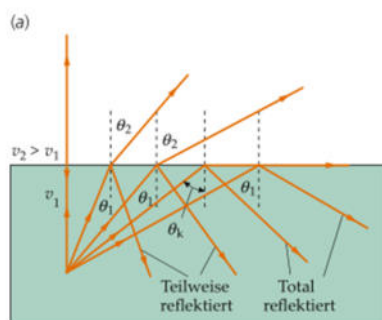
Relative Intensität von reflektiertem und durchgelassenem Licht

- ▶ Darin ist I_0 die einfallende Intensität, n_1 und n_2 sind die Brechzahlen der beiden Medien. Für einen typischen Fall wie dem der Reflexion an einer Luft–Glas–Grenzfläche, also mit $n_1 = 1$ und $n_2 = 1,5$, ergibt sich aus vorheriger Gleichung die reflektierte Intensität $I = \frac{I_0}{25}$.
- ▶ Es werden also nur rund 4% der Lichtenergie reflektiert, und der allergrößte Teil wird durchgelassen (transmittiert).
- ▶ Es wird wie folgt gerechnet:

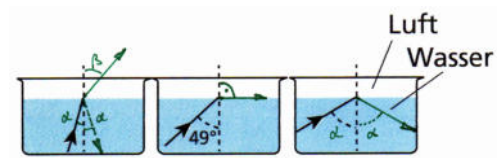
Totalreflexion

- ▶ Folgende Abbildungen zeigen eine Punktquelle in Glas, von der Lichtstrahlen ausgehen, die unter verschiedenen Winkeln auf die Grenzfläche zwischen Luft und Glas treffen. Alle Strahlen, die nicht senkrecht zur Grenzfläche verlaufen, werden beim Austritt in die Luft vom Einfallslot weg gebrochen. Mit steigendem Einfallswinkel nimmt der Brechungswinkel bis zu einem kritischen Einfallswinkel α_k zu, für den der Brechungswinkel gleich 90° ist.
- ▶ Ist der Einfallswinkel größer als dieser kritische Winkel, so tritt keine Brechung auf, und es tritt kein Strahl in die Luft aus. Die gesamte Lichtintensität wird stattdessen reflektiert. Dieses Phänomen heißt Totalreflexion. Der kritische Winkel hängt von den Brechzahlen der beiden Medien ab. Man kann ihn ermitteln, indem man die Gleichung $n_1 \cdot \sin(\alpha) = n_2 \cdot \sin(\beta)$ nach $\sin(\alpha)$ auflöst und β gleich 90° setzt. Das ergibt

Totalreflexion



Totalreflexion



Totalreflexion

Warum ist der Himmel blau?

- ▶ Sieh dir folgende Videos an und fasse zusammen.
 - Video: 03_03f Warum ist der Himmel blau
 - Video: 03_03g Warum ist der Himmel blau

Aufgaben:

- ▶ Siehe PDF 03_03_c Aufgaben Brechung und Reflexion