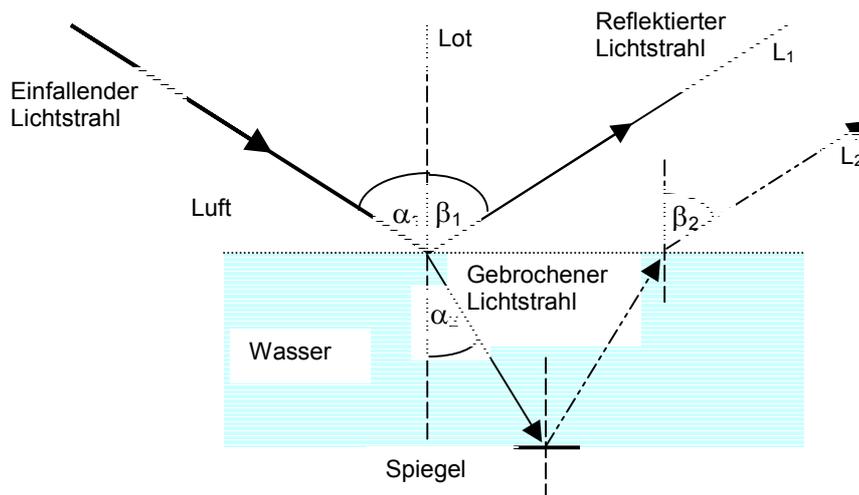


## Licht-Brechung



<p><b>Das „einfache“ Brechungsgesetz</b></p> $\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = n$
--

- $\alpha_1$  = Einfallswinkel in der Luft oder im Vakuum
- $\alpha_2$  = Brechungswinkel im optisch dichteren Medium
- $n$  = **Brechzahl** oder **Brechungsindex**  
(des optisch dichteren Medium gegenüber **Vakuum**)

Damit gilt das Brechungsgesetz ebenfalls für die Lichtgeschwindigkeit  $v_1$  und  $v_2$  in den verschiedenen Stoffen:

<p><b>Das „allgemeine“ Brechungsgesetz</b></p> $\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$
--

$v_1$  und  $v_2$  entsprechen den Lichtgeschwindigkeiten in den optischen Medien 1 und 2. Für unser Beispiel mit Glas und Wasser gilt also:

$$\frac{\sin \alpha_1(\text{Wasser})}{\sin \alpha_2(\text{Glas})} = \frac{n_2(\text{Glas})}{n_1(\text{Wasser})} = \frac{v_1(\text{Wasser})}{v_2(\text{Glas})}$$

## Umformungen

$$\sin \alpha_1 = \frac{n_2 \cdot \sin \alpha_2}{n_1}$$

$$v_1 = \frac{v_2 \cdot \sin \alpha_1}{\sin \alpha_2}$$

$$n_1 = \frac{n_2 \cdot v_2}{v_1}$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{n_1 \cdot \sin \alpha_1}{n_2}$$

$$v_2 = \frac{v_1 \cdot \sin \alpha_2}{\sin \alpha_1}$$

$$n_2 = \frac{n_1 \cdot v_1}{v_2}$$

$$n_1 = \frac{n_2 \cdot \sin \alpha_2}{\sin \alpha_1}$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{v_1 \cdot \sin \alpha_2}{v_2}$$

$$v_1 = \frac{n_2 \cdot v_2}{n_1}$$

$$n_2 = \frac{n_1 \cdot \sin \alpha_1}{\sin \alpha_2}$$

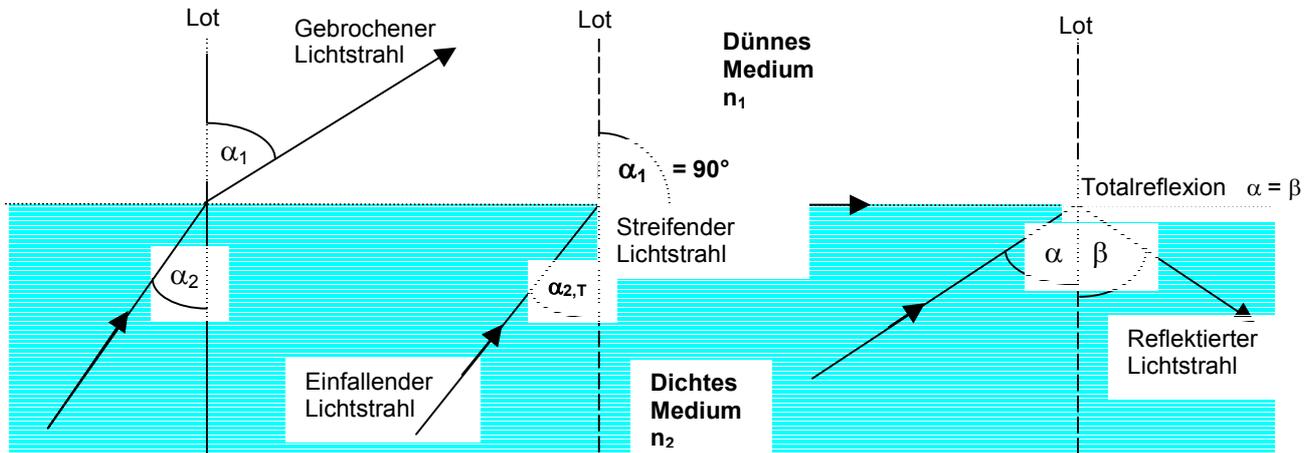
$$\sin \alpha_2 = \frac{v_2 \cdot \sin \alpha_1}{v_1}$$

$$v_2 = \frac{n_1 \cdot v_1}{n_2}$$

## Die Totalreflexion

Der Übergang des Lichts von einem optisch dichteren in ein optisch dünneres Medium ist oberhalb eines bestimmten Einfallswinkels nicht mehr möglich.

Wenn der Lichtstrahl beim Austritt vom dichteren ins dünnere Medium einen Winkel  $\alpha_1$  von  $90^\circ$  gegenüber dem Lot hätte, dann streift er die Wasseroberfläche, und das ist die Grenze des möglichen Austritts:



Der zugehörige **Einfallswinkel  $\alpha_2$  hat somit einen Grenzwert erreicht**, der abhängig vom Verhältnis der Brechzahlen ist. Er heisst  $\alpha_{2,T}$ , weil darüber **Totalreflexion** auftritt

### Bestimmung des Grenzwinkels:

Bsp. allgemeines Brechungsgesetz, Übergang aus Wasser in Luft:

$$\frac{\sin \alpha_{Wasser}}{\sin \alpha_{Luft}} = \frac{n_{Luft}}{n_{Wasser}} \quad \text{aufgelöst nach Luftwinkel} \quad \sin \alpha_{Luft} \rightarrow \sin \alpha_{Luft} = \frac{\sin \alpha_{Wasser} \cdot n_{Wasser}}{n_{Luft}}$$

Für den Brechungswinkel von  $\alpha_{Luft} = 90^\circ$  ist  $\sin \alpha_{Luft} = \sin 90^\circ = 1$ .

$$\text{Daraus folgt: } 1 = \frac{\sin \alpha_{Wasser} \cdot n_{Wasser}}{n_{Luft}} \quad \text{aufgelöst nach } \sin \alpha_{Wasser} \rightarrow \sin \alpha_{Wasser} = \frac{n_{Luft}}{n_{Wasser}}$$

Der Winkel  $\alpha_{Wasser}$  heisst in diesem Fall **Grenzwinkel der Totalreflexion  $\alpha_{2,T}$** :

Allgemein gilt:

$$\sin \alpha_{2,T} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow \alpha_{2,T} = \arcsin \frac{n_1}{n_2}$$

Ebenso für die Lichtgeschwindigkeiten:

$$\sin \alpha_{2,T} = \frac{v_2}{v_1} \Rightarrow \alpha_{2,T} = \arcsin \frac{v_2}{v_1}$$

Beim Übergang zu **Luft** wird es einfacher, weil  $n_{Luft} = n_1 = 1$ :

$$\sin \alpha_{2,T} = \frac{1}{n_2} \Rightarrow \alpha_{2,T} = \arcsin \frac{1}{n_2}$$

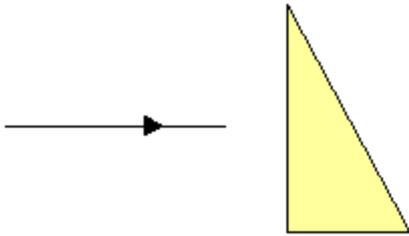
1= dünneres Medium, 2=dichteres Medium

## Aufgaben

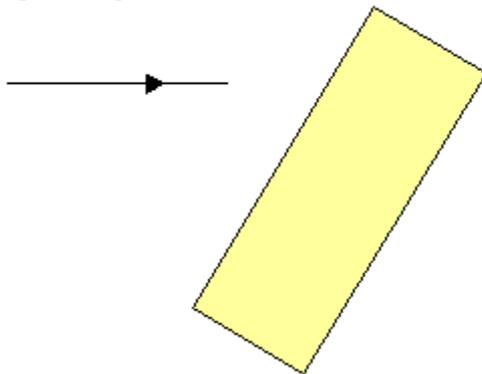
1)

Konstruieren sie den ungefähren Lichtverlauf durch die verschieden geformten Gläser. Die Konstruktionen sollen lediglich den prinzipiellen Strahlengang darstellen.

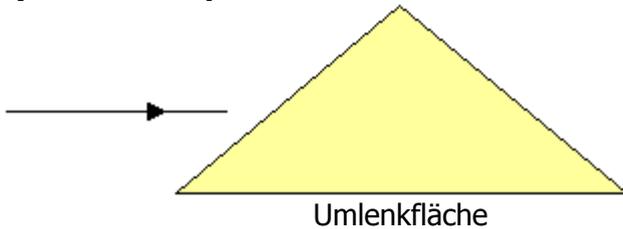
a)



b) Planparallele Platte

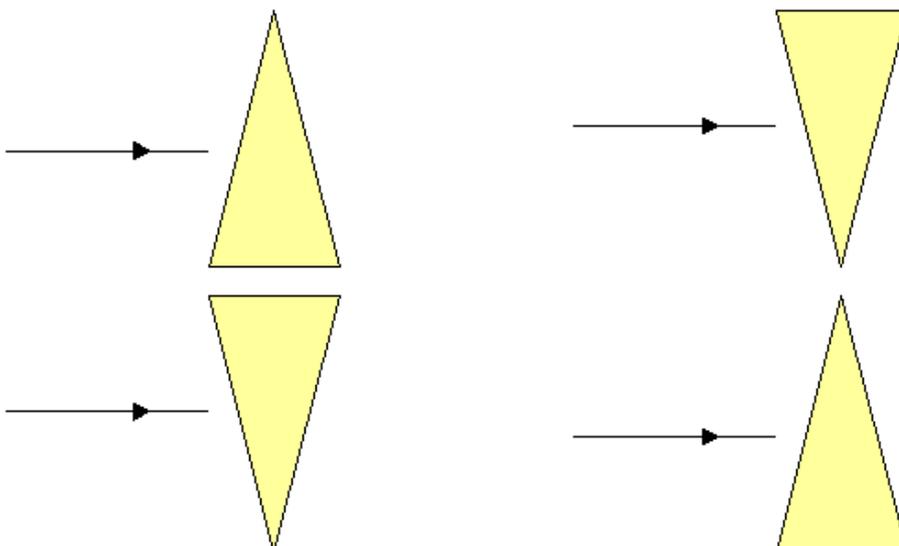


c) Reflexionsprisma



Annahme:  
An der Umlenkfläche wird der  
Grenzwinkel der Totalreflexion  
überschritten.

d)



**Zusatz-  
frage:**  
An welche  
Art von  
„Gläsern“  
erinnern  
sie diese  
beiden  
Formen?

**a)**

Was geschieht, wenn ein Lichtstrahl auf eine glatte Oberfläche fällt, z.B. auf eine Glasscheibe?

- a) Das Licht wird zum Teil reflektiert und tritt zum Teil ins Glas hinein.
- b) Das Licht wird vollständig reflektiert.
- c) Das Licht wird in Farben zerlegt.

**b)**

Wie lautet das Reflexionsgesetz?

a)  $\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1}$

- b) Es gibt kein solches Gesetz.
- c) Einfallswinkel  $\alpha$  = Reflexionswinkel  $\beta$

**c)**

Was sagt das Brechungsgesetz aus?

- a) Das Licht wird beim Übergang vom optisch dünneren Medium ins optisch dichtere Medium zum Lot hin gebrochen.
- b) Das Licht wird beim Übergang vom optisch dünneren Medium ins optisch dichtere Medium vom Lot weg gebrochen.
- c) Licht wird nur reflektiert.

**d)**

Wann tritt Totalreflexion auf?

- a) Beim Übergang vom optisch dichteren Medium ins optisch dünnere Medium, wenn der Einfallswinkel grösser als der Grenzwinkel der Totalreflexion ist.
- b) Beim Übergang vom optisch dichteren Medium ins optisch dünnere Medium, wenn der Einfallswinkel kleiner als der Grenzwinkel ist.
- c) Beim Übergang vom optisch dünneren Medium ins optisch dichtere Medium, wenn der Einfallswinkel grösser als der Grenzwinkel ist.

**e)**

Wie lässt sich der Grenzwinkel der Totalreflexion berechnen, falls es sich beim dünneren Medium um Luft handelt?

a)  $\sin \alpha_{2,T} = \frac{1}{n_2}$

b)  $\sin \alpha_{2,T} = \frac{n_2}{n_1}$

c)  $\sin \alpha_{2,T} = n_2$

**f)**

Wenn ein Lichtstrahl durch eine planparallele Platte tritt, dann ist der ausfallende Lichtstrahl ...

- a) ... zum einfallenden Strahl parallel verschoben.
- b) ... zum einfallenden Strahl nicht verschoben.
- c) ... senkrecht zum einfallenden Strahl verschoben.

**8)**

Ein Lichtstrahl trifft unter einem Einfallswinkel von  $50^\circ$  von Luft auf Glas ( $n = 1,51$ ). Berechnen sie den Brechungswinkel.

**9)**

Berechnen sie den Grenzwinkel der Totalreflexion von Quarz ( $n = 1,54$ ) gegen Wasser ( $n = 1,33$ ).

**10)**

Ein Lichtstrahl trifft aus der Luft kommend unter dem Einfallswinkel von  $45^\circ$  auf ein Fensterglas ( $n = 1,6$ ). Unter welchem Winkel läuft der Lichtstrahl im Fensterglas weiter?

**11)**

Ein Lichtstrahl kommt aus der Luft und trifft auf einer Glasplatte ( $n = 1,63$ ) auf. Unter welchem Einfallswinkel ist der Lichtstrahl auf der Glasplatte aufgetroffen, wenn er unter einem Winkel von  $32^\circ$  in der Glasscheibe weiterverläuft?

**12)**

Ein aus der Luft kommender Lichtstrahl wird durch Brechung an einem unbekanntem Material um  $20^\circ$  von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt, wobei der Brechungswinkel  $27^\circ$  beträgt. Wie gross ist die Brechzahl des unbekanntem Materials? Um was für ein Material handelt es sich?

**13)**

Wie gross ist die Lichtgeschwindigkeit in Acrylglas (Plexiglas) mit  $n_{\text{Acryl}} = 1,492$ ?

**14)**

Wie gross ist der Grenzwinkel der Totalreflexion zwischen Wasser und Alkohol?

**15)**

Die Lichtgeschwindigkeit in Eis beträgt  $229'000 \text{ km/s}$ . Berechnen sie die Brechzahl von Eis.

**16)**

Der Grenzwinkel der Totalreflexion zwischen Luft und Rubin beträgt  $34,6^\circ$ . Berechnen sie die Lichtgeschwindigkeit in Rubin und seine Brechzahl.

**17)**

Ein aus einem unbekanntem Material kommender Lichtstrahl wird an Diamant gebrochen. Der Einfallswinkel beträgt  $25^\circ$ , der Brechungswinkel beträgt  $16^\circ$ . Aus welchem Material kommt der Lichtstrahl?

**18)**

Ein schmales Lichtbündel trifft die Wasseroberfläche eines Aquariums unter dem Einfallswinkel von  $45^\circ$ . Der gebrochene Strahl fällt auf den Boden des Aquariums, trifft dort auf einen horizontal liegenden Spiegel, wird zurück zur Oberfläche reflektiert und an der Grenzfläche zur Luft gebrochen.

Brechzahl des Wassers beträgt  $n = 1,33$ .

- a) Wie gross ist der Winkel zwischen dem einfallenden Strahl und der Richtung, unter der das Licht die Wasseroberfläche wieder verlässt?
- b) Wie gross ist der Abstand zwischen den beiden Punkten, in welchen der einfallende und der reflektierte Lichtstrahl durch die Wasseroberfläche stossen, wenn das Wasser 15 cm tief ist?

**19)**

Wir legen eine Münze auf den Boden einer Schüssel und schauen so über den Schüsselrand, dass die Münze gerade nicht mehr zu sehen ist. Wenn wir nun vorsichtig Wasser eingiessen, ohne dabei unsere Stellung zu verändern, wird die Münze wieder sichtbar. Ausserdem scheint die Schüssel weniger tief als im leeren Zustand zu sein. Wie ist das zu erklären? (Skizze)!

**20)**

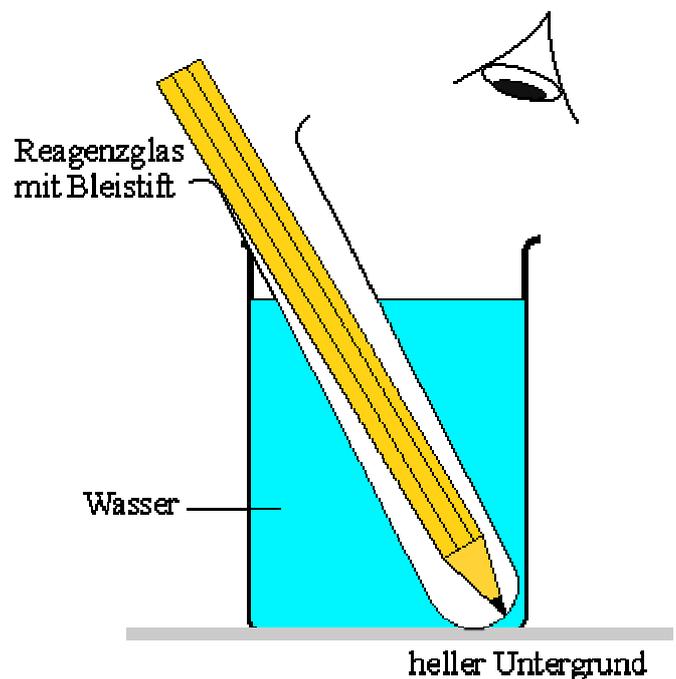
Ein Fisch steht 50 cm unter einer ruhigen Wasseroberfläche ( $n = 1.33$ ). Welche Gebiete ausserhalb des Wassers kann er direkt sehen, und welche Gebiete im Wasser kann er über eine Totalreflexion erkennen? (Skizze)!

**21)**

In ein Reagenzglas wird ein Bleistift gesteckt. Solange sich das Reagenzglas ausserhalb des Wassers befindet, ist der Bleistift gut durch die Wand des Reagenzglas zu sehen. Taucht man nun das Reagenzglas samt Bleistift ins Wasser, welches auf einer hellen gut beleuchteten Unterlage steht, und blickt auf das Reagenzglas in der skizzierten Richtung, so ist der Bleistift im eingetauchten Teil des Glases nicht mehr zu sehen. Das Reagenzglas scheint an der Oberfläche „versilbert“ zu sein.

a) Wie ist das zu erklären?

b) Wie könnte der untere Teil des Bleistifts wieder sichtbar gemacht werden?



## Wissensfragen

**22)**

Wenn ein Beobachter durch ein Spiegelsystem die Augen einer anderen Person sieht, kann dann diese Person die Augen des Beobachters sehen? Siehe auch Aufgabe 18).

**23)**

Aufgrund welcher optischen Gesetzmässigkeit werden Lichtstrahlen in einem LWL weitergeleitet?

- a) Dispersion
- b) Reflexion
- c) Brechung
- d) Totalreflexion

**24)**

Lichtstrahlen werden in einem LWL weitergeleitet, weil ...

- a) ... der Glasfasermantel verspiegelt ist.
- b) ... die Brechzahl des Mantels grösser ist als die Brechzahl des Kerns.
- c) ... der Mantel eine grössere optische Dichte aufweist als der Kern.
- d) ... der Kern eine grössere optische Dichte aufweist als der Mantel.

**25)**

LWL: Ordnen sie die englischen Begriffe den deutschen zu:

- |                |             |
|----------------|-------------|
| a) Kern        | 1) Coating  |
| b) Mantel      | 2) Core     |
| c) Schutzhülle | 3) Cladding |

**26)**

Was bedeutet die LWL-Bezeichnung „9/125“?

**27)**

LWL: Was bedeutet Mode (Mehrzahl: Moden)?

**28)**

LWL: Was ist mit der Bezeichnung „Index“ gemeint, z.B. in Stufenindex-Profil?

**29)**

Welche Glasfaser eignet sich am besten für hohe Bandbreiten und lange Distanzen?

- a) Multimode-Faser mit Stufenindex-Profil
- b) Multimode-Faser mit Gradientenindex-Profil
- c) Monomode-Faser
- d) Dispersions-Faser

**30)**

Weshalb werden die Lichtsignale bei der Multimode-Faser mit Gradientenindex-Profil „weich“ reflektiert? Erklären sie.

**31)**

Weisses Licht wird an einem Prisma in seine Spektralfarben aufgespalten. Wie wird dieses Phänomen bezeichnet?

- a) Brechung
- b) Reflexion
- c) Totalreflexion
- d) Dispersion

**32)**

Welche (sichtbare) Farbe wird am Prisma am meisten gebrochen?

- a) Rot
- b) Grün
- c) Blau
- d) Violett

**33)**

Weisses Sonnenlicht enthält zwei für unser Auge unsichtbare Lichtwellen. Welche sind es?

**34)**

Aufgrund welches optischen Gesetzes kommt eine Fata Morgana zustande?

- a) Brechung
- b) Dispersion
- c) Totalreflexion
- d) Reflexion

**35)**

Ein Regenbogen kommt aufgrund verschiedener optischer Gesetzmässigkeiten zustande. Welche sind dies?

- a) Brechung und Reflexion
- b) Dispersion und Reflexion
- c) Brechung und Totalreflexion
- d) Brechung, Totalreflexion und Dispersion

**36)**

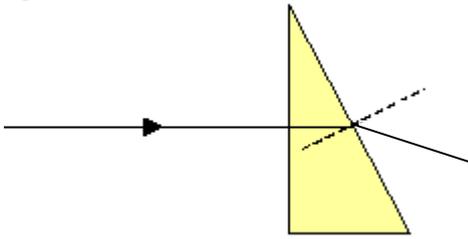
Die Farben eines Regenbogens bezeichnet man als ...

- a) Komplementärfarben
- b) Spektralfarben
- c) Reflexionsfarben
- d) Grundfarben**

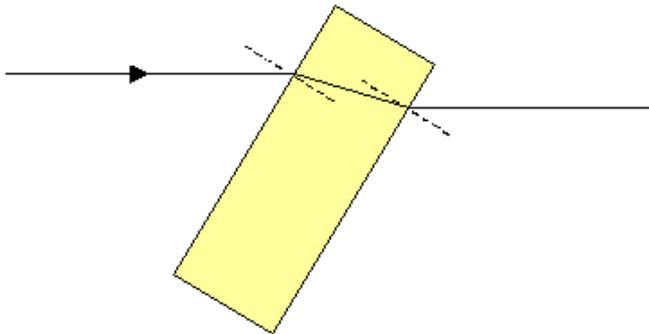
## Lösungen

### Aufgabe 1

a)

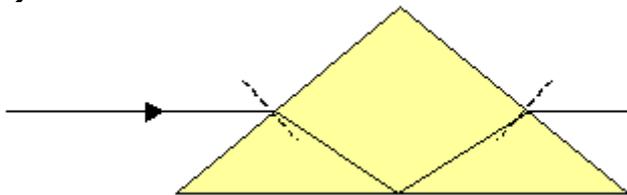


b)



Siehe auch Übung 1,  
planparallele Platte

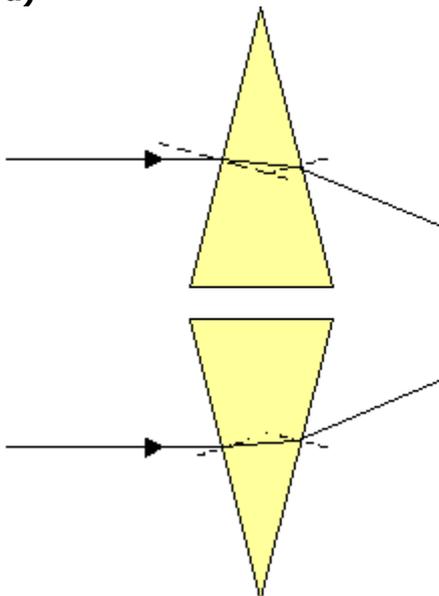
c)



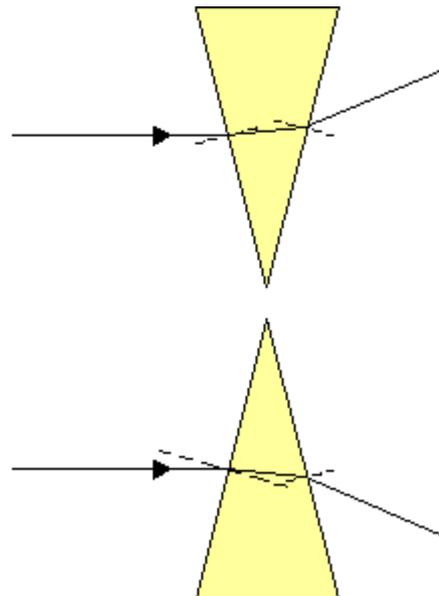
An der Umlenkfläche wird der  
Lichtstrahl **totalreflektiert**.

Reflexionsprismen werden in vielen  
optischen Geräten eingesetzt, z.B. in  
Spiegelreflexkameras.

d)



Die Abbildung und der Strahlengang  
ähneln einer **Sammellinse**.



Die Abbildung und der Strahlengang  
ähneln einer **Sammellinse**.

### Aufgabe 2

a) Das Licht wird zum Teil reflektiert und tritt zum Teil ins Glas hinein.

### Aufgabe 3

c) Einfallswinkel  $\alpha$  = Reflexionswinkel  $\beta$

### Aufgabe 4

a) Das Licht wird beim Übergang vom optisch dünneren Medium ins optisch dichtere Medium zum Lot hin gebrochen.

### Aufgabe 5

a) Beim Übergang vom optisch dichteren Medium ins optisch dünnere Medium, wenn der Einfallswinkel grösser als der Grenzwinkel der Totalreflexion ist.

### Aufgabe 6

$$a) \sin \alpha_{2,T} = \frac{1}{n_2}$$

### Aufgabe 7

Wenn ein Lichtstrahl durch eine planparallele Platte tritt, dann ist der ausfallende Lichtstrahl ...

a) ... zum einfallenden Strahl parallel verschoben.

### Aufgabe 8

$$\alpha_1 = 50^\circ \quad n_{\text{Luft}} = 1 = n_1 \quad n_{\text{Glas}} = 1.51 = n_2$$

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \sin \alpha_2 = \frac{n_1 \cdot \sin \alpha_1}{n_2} = \frac{1 \cdot \sin 50^\circ}{1.51} = \frac{1 \cdot 0.766}{1.51} = 0.507$$

$$\alpha_2 = \arcsin 0.507 = \underline{\underline{30.5^\circ}}$$

### Aufgabe 9

$$n_{\text{Wasser}} = 1.33 = n_1 \quad n_{\text{Quarz}} = 1.54 = n_2$$

$$\sin \alpha_{2,T} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1.33}{1.54} = 0.864$$

$$\alpha_{2,T} = \arcsin 0.864 = \underline{\underline{59.7^\circ}}$$

**Aufgabe 10**

$$\alpha_1 = 45^\circ \quad n_{\text{Luft}} = 1 = n_1 \quad n_{\text{Glas}} = 1.6 = n_2$$

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \sin \alpha_2 = \frac{n_1 \cdot \sin \alpha_1}{n_2} = \frac{1 \cdot \sin 45^\circ}{1.6} = \frac{1 \cdot 0.707}{1.6} = 0.442$$

$$\alpha_2 = \arcsin 0.442 = \underline{\underline{26.2^\circ}}$$

**Aufgabe 11**

$$\alpha_2 = 32^\circ \quad n_{\text{Luft}} = 1 = n_1 \quad n_{\text{Glas}} = 1.63 = n_2$$

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \sin \alpha_1 = \frac{n_2 \cdot \sin \alpha_2}{n_1} = \frac{1.63 \cdot \sin 32^\circ}{1} = \frac{1.63 \cdot 0.530}{1} = 0.864$$

$$\alpha_1 = \arcsin 0.864 = \underline{\underline{59.7^\circ}}$$

**Aufgabe 12**

$$\alpha_2 = 27^\circ \quad \alpha_1 = 20^\circ + 27^\circ = 47^\circ \quad n_{\text{Luft}} = 1 = n_1$$

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \frac{n_2}{1} = \frac{n_1 \cdot \sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{1 \cdot \sin 47^\circ}{\sin 27^\circ} = \frac{1 \cdot 0.731}{0.454} = \underline{\underline{1.61}}$$

Es handelt sich um Glas – genaugenommen um sog. **Flintglas**.

Flintglas ist ein Glas mit einem hohen Gehalt an Bleioxid. Es hat eine verhältnismässig hohe Brechzahl und eine gleichmässige optische Dispersion. Die Brechzahl optischer Flintgläser liegt im Bereich von 1,5 bis 2,0. Optisches Flintglas wird in einer Reihe von optischen Instrumenten eingesetzt. Beispiele sind Fernrohre, Okulare oder Objektive von Kameras oder Brillengläser.

**Aufgabe 13**

Bezugsgrössen sind die Vakuum-Lichtgeschwindigkeit und die Vakuum-Brechzahl.

$$v_{\text{Vakuum}} = v_1 = c = 300 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad n_{\text{Vakuum}} = 1 = n_1 \quad n_{\text{Acryl}} = 1.492 = n_2$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \rightarrow \frac{n_2}{1} = \frac{n_1 \cdot v_1}{v_2} = \frac{1 \cdot 300 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.492} = \underline{\underline{201 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

Die Lichtgeschwindigkeit reduziert sich im optisch dichteren Medium.

### Aufgabe 14

$$n_{\text{Wasser}} = 1.33 = n_1 \quad n_{\text{Alkohol}} = 1.36 = n_2$$

$$\sin \alpha_{2,T} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow \alpha_{2,T} = \arcsin \frac{n_1}{n_2} = \arcsin \frac{1.33}{1.36} = \arcsin 0.978 = \underline{\underline{77.9^\circ}}$$

### Aufgabe 15

Bezugsgrößen sind die Vakuum-Lichtgeschwindigkeit und die Vakuum-Brechzahl.

$$v_{\text{Vakuum}} = v_1 = c = 300 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad v_{\text{Eis}} = v_2 = 229 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad n_{\text{Vakuum}} = 1 = n_1$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \rightarrow n_2 = \frac{n_1 \cdot v_1}{v_2} = \frac{1 \cdot 300 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{229 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \underline{\underline{1.31}}$$

### Aufgabe 16

$$v_{\text{Luft}} = v_1 = c = 300 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad n_{\text{Luft}} = 1 = n_1 \quad \alpha_{2,T} = 34.6^\circ$$

$$\sin \alpha_{2,T} = \frac{v_2}{v_1} \Rightarrow v_2 = v_1 \cdot \sin \alpha_{2,T} = 300 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sin 34.6^\circ = 300 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0.568 = \underline{\underline{170 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

$$\sin \alpha_{2,T} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow n_2 = \frac{n_1}{\sin \alpha_{2,T}} = \frac{1}{\sin 34.6^\circ} = \frac{1}{0.568} = \underline{\underline{1.76}}$$

### Aufgabe 17

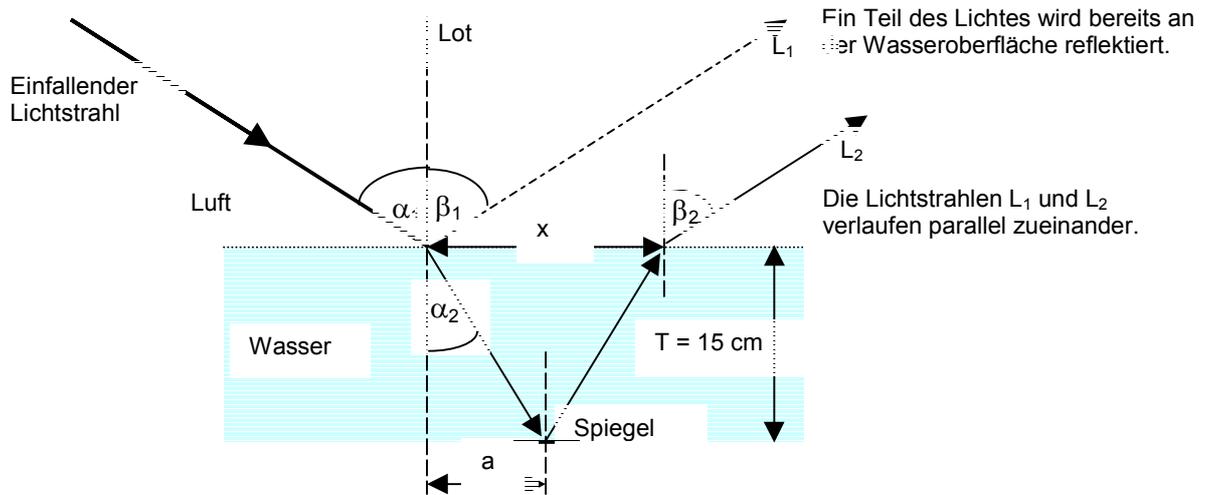
$$\alpha_1 = 25^\circ \quad \alpha_2 = 16^\circ \quad n_{\text{Diamant}} = 2.42 = n_2$$

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow n_1 = \frac{n_2 \cdot \sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} = \frac{2.42 \cdot \sin 16^\circ}{\sin 25^\circ} = \frac{2.42 \cdot 0.276}{0.423} = \underline{\underline{1.58}}$$

Es handelt sich um **Glimmer**.

Glimmer gehören zu den häufigsten gesteinsbildenden Mineralen und sind wichtige Bestandteile vieler Gesteine.

## Aufgabe 18



$$\alpha_1 = 45^\circ \quad n_{\text{Luft}} = 1 = n_1 \quad n_{\text{Wasser}} = 1.33 = n_2 \quad \text{Tiefe: } T = 15 \text{ cm}$$

a)

Da die Lichtstrahlen  $L_1$  und  $L_2$  parallel zueinander verlaufen, müssen gemäss Reflexionsgesetz  $\alpha_1 = \beta_1 = \beta_2 = 45^\circ$  betragen. Ergo ist der Winkel zwischen einfallendem Strahl und der Richtung, unter dem das Licht die Wasseroberfläche verlässt  $\alpha_1 + \beta_2 = 45^\circ + 45^\circ = \underline{\underline{90^\circ}}$ .

b)

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \sin \alpha_2 = \frac{n_1 \cdot \sin \alpha_1}{n_2} = \frac{1 \cdot \sin 45^\circ}{1.33} = \frac{1 \cdot 0.707}{1.33} = 0.532$$

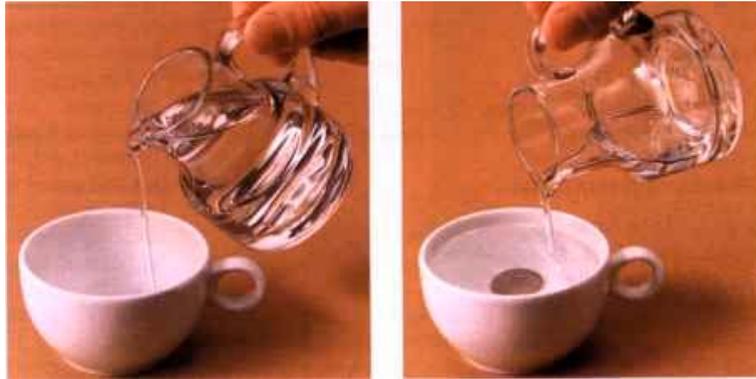
$$\alpha_2 = \arcsin 0.532 = 32.1^\circ$$

$$\tan \alpha_2 = \frac{a}{T} \rightarrow a = \tan \alpha_2 \cdot T = \tan 32.1^\circ \cdot 15 \text{ cm} = 0.628 \cdot 15 \text{ cm} = 9.42 \text{ cm}$$

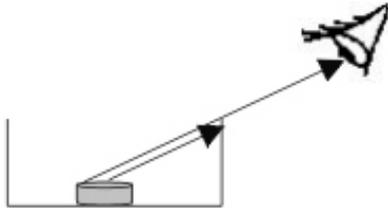
$$\underline{x = 2 \cdot a = 2 \cdot 9.42 \text{ cm} = \underline{\underline{18.8 \text{ cm}}}}$$

## Aufgabe 19

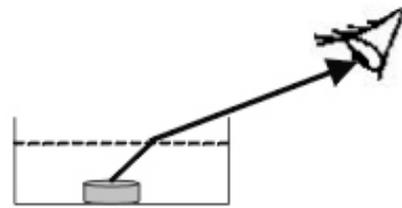
Versuch:



Strahlengang ohne und mit Wasser:

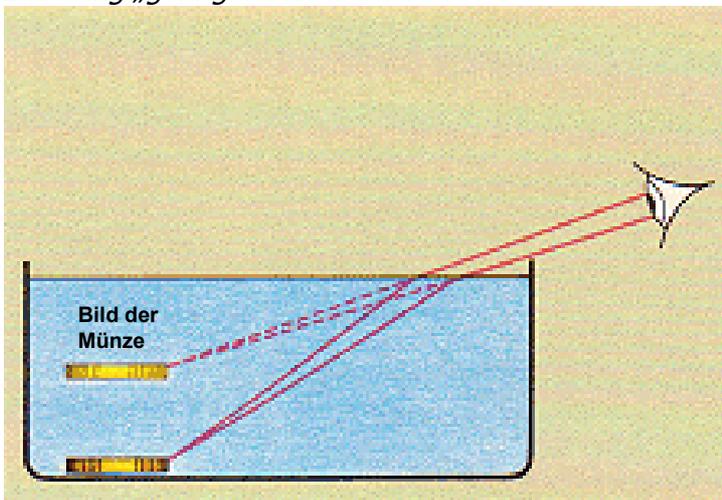


Münze ist für den Beobachter nicht sichtbar.



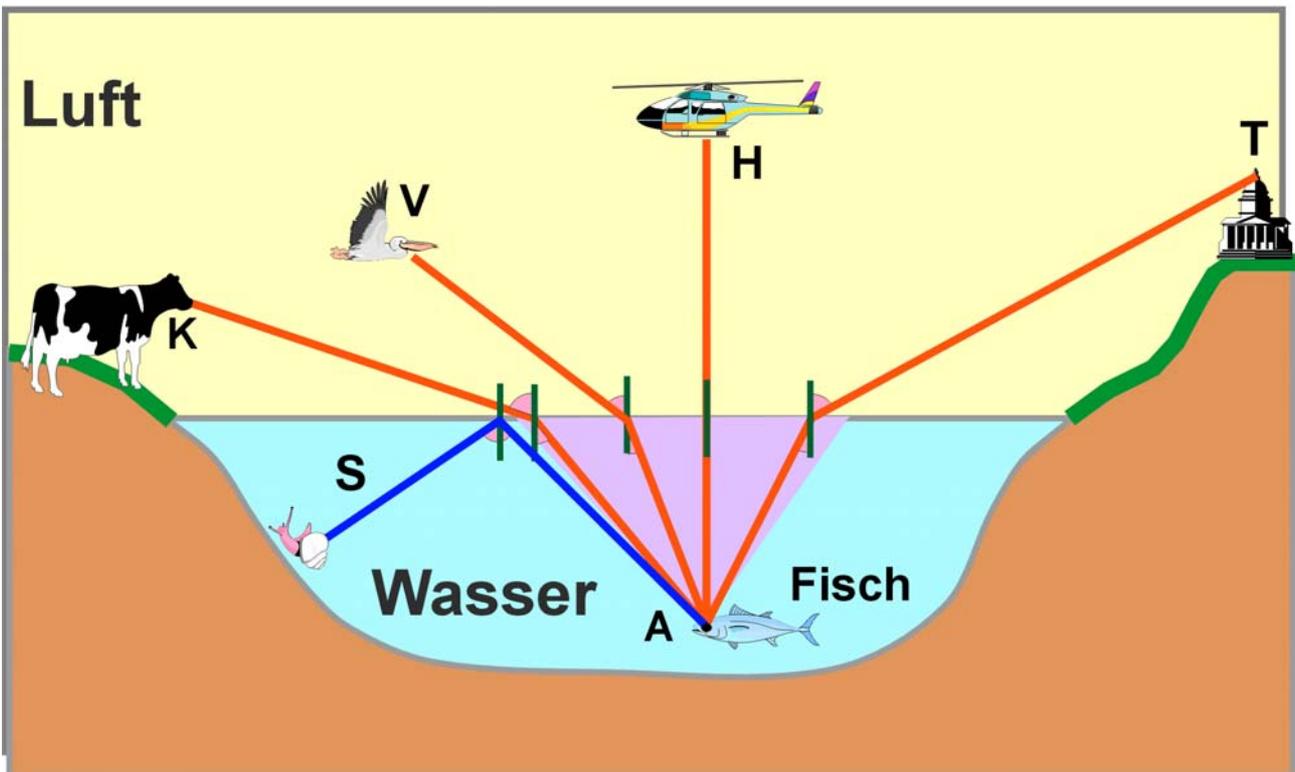
Münze wird durch Lichtbrechung sichtbar.

Erklärung „geringere Wassertiefe“:



Das Gehirn geht aufgrund der Erfahrung davon aus, dass sich das Licht geradlinig ausbreitet. Es „verlegt“ deshalb den Ausgangspunkt des Lichtbündels an eine andere Stelle: Der Gegenstand wird dort wahrgenommen, wo sich die rückwärts verlängerten Strahlen des gebrochenen Lichtbündels schneiden. Schaut man flach auf die Wasseroberfläche, scheint der Gegenstand höher zu liegen. Der Grund dafür ist, dass das ins Auge fallende Lichtbündel stärker aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt wird.

**Aufgabe 20**



**Ansicht von unten:**

- A = Auge des Fisches
- H = Helikopter
- V = Vogel
- K = Kuh
- T = Turm
- S = Schnecke

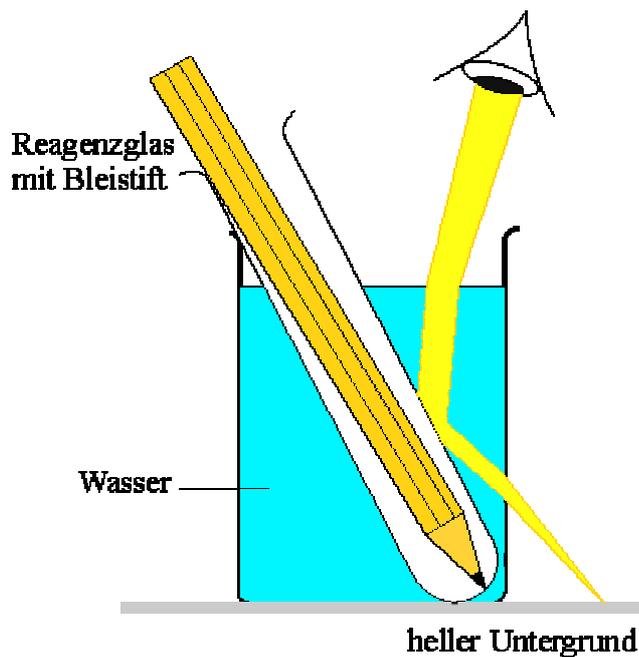
*Umwelt ausserhalb des Wassers:*

Der Fisch sieht die Umwelt **ausserhalb des Wassers** in einem Kreis – und zwar **verzerrt** (siehe auch Aufgabe 19). Die Lichtbrechung verzerrt das Bild an der Kreisperipherie mehr als im Zentrum des Kreises.

*Umwelt innerhalb des Wassers:*

Ausserhalb dieses Kreises sieht er in einem Kreisring die Umwelt **innerhalb des Wassers** – und zwar **unverzerrt**. Grund: Die Objekte – hier die Schnecke – werden an der Wasseroberfläche totalreflektiert.

### Aufgabe 21



a)  
Licht vom hellen Untergrund gelangt durch die Wand des Becherglases ins Wasser. Es trifft weiter durch die Wand des Becherglases an die Grenzfläche zwischen Glas und Luft. Da Glas optisch dichter als Luft ist, kann es - wenn der Einfallswinkel gross genug ist - zur Totalreflexion des Lichts am Reagenzglas kommen. Das totalreflektierte Licht trifft schliesslich ins Auge und "überstrahlt" dasjenige Licht, welches vom Bleistift ausgehend ins Auge gelangt. Ist der Untergrund hell genug (z.B. gut beleuchtete helle Tischplatte), so hat man den Eindruck von einem "versilberten" Reagenzglas.

b)  
In dem man Wasser in das Reagenzglas einfüllt. Das Licht erleidet an der Grenzfläche Glas – Luft eine Totalreflexion. Diese verschwindet, wenn man Wasser hineingiesst. Hätte das Reagenzglas die gleiche Brechzahl wie das Wasser, so wäre es völlig unsichtbar.

### Wissensfragen

#### Aufgabe 22

Antwort: **Ja!**

Dies ist möglich, weil das Licht den Weg in beiden Richtungen durchlaufen kann. Dies erklärt auch den Strahlengang von Aufgabe 18 bzw. das Bild 3 von Kapitel 1, Brechungsgesetz.

#### Aufgabe 23

d) Totalreflexion

#### Aufgabe 24

d) Weil der Kern eine grössere optische Dichte aufweist als der Mantel.

#### Aufgabe 25

- |                |               |
|----------------|---------------|
| a) Kern        | = 2) Core     |
| b) Mantel      | = 3) Cladding |
| c) Schutzhülle | = 1) Coating  |

#### Aufgabe 26

(Single-Mode)-Glasfaser mit einem Kerndurchmesser von 9  $\mu\text{m}$  und einem Manteldurchmesser von 125  $\mu\text{m}$ .

**Aufgabe 27**

Lichtwelle bzw. Lichtwellen

**Aufgabe 28**

Index bedeutet Brechungsindex = Brechzahl  $n$ .

**Aufgabe 29**

c) Monomode-Faser = Single-Mode-Faser oder Einmoden-Faser

**Aufgabe 30**

Die Brechzahl  $n$  des Kerns nimmt zum Mantel hin kontinuierlich ab.

**Aufgabe 31**

d) Dispersion

**Aufgabe 32**

d) Violett

**Aufgabe 33**

- Infrarotstrahlen
- Ultraviolettstrahlen

**Aufgabe 34**

c) Totalreflexion

**Aufgabe 35**

d) Brechung, Totalreflexion und Dispersion

**Aufgabe 36**

b) Spektralfarben