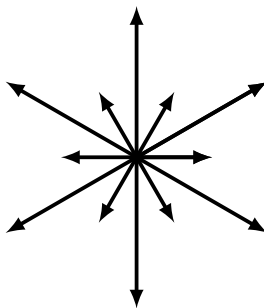


Optik

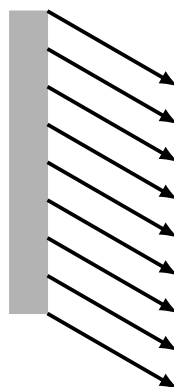
Die Optik beschäftigt sich mit den Eigenschaften des Lichtes. Lichteffekte begegnen uns im täglichen Leben überall. Man sieht etwas, das heisst Lichtstrahlen werden von einem Objekt reflektiert und fallen in unser Auge.

1 Lichtquellen

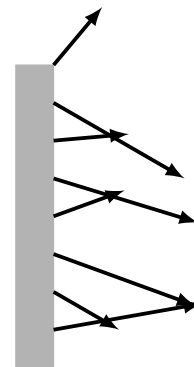
Es gibt sehr verschiedene Lichtquellen: Die Sonne, Kerzen, Lampen, der Fernseher und viele mehr. Man unterscheidet zwischen drei verschiedenen Typen von Lichtquellen. Punktlichtquelle, Parallelstrahler und Flächenstrahler.



Punktlichtquelle



Parallelstrahler



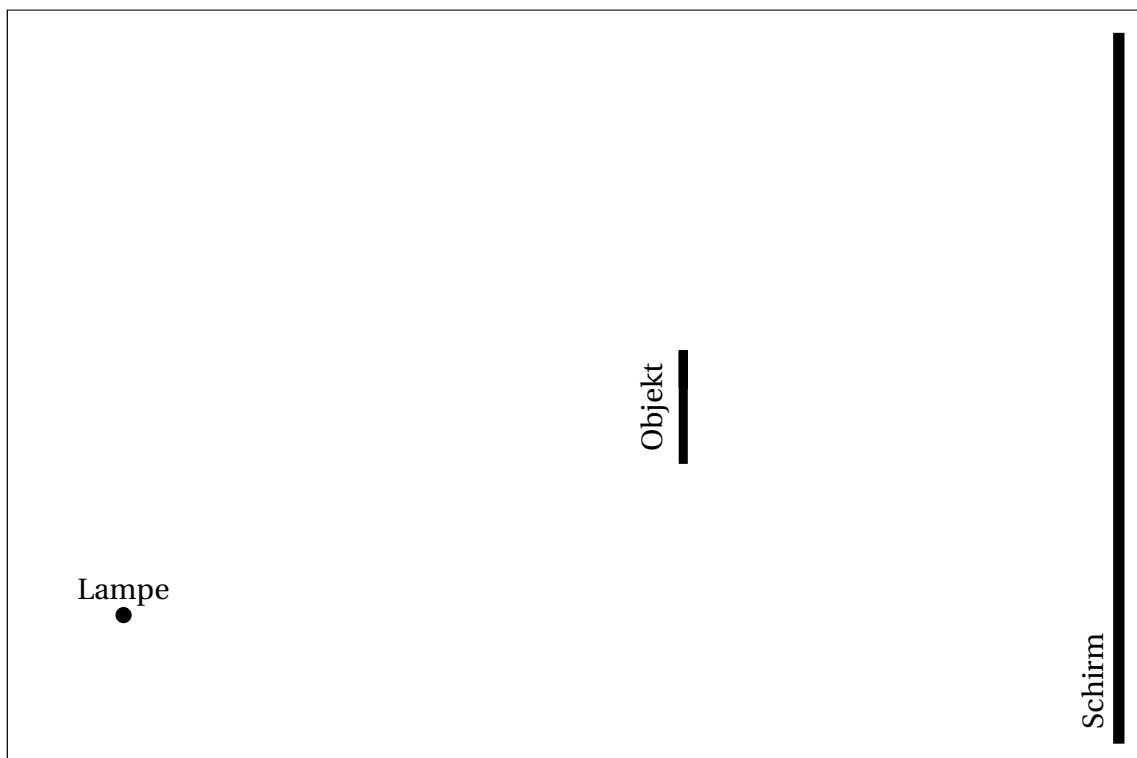
Flächenstrahler

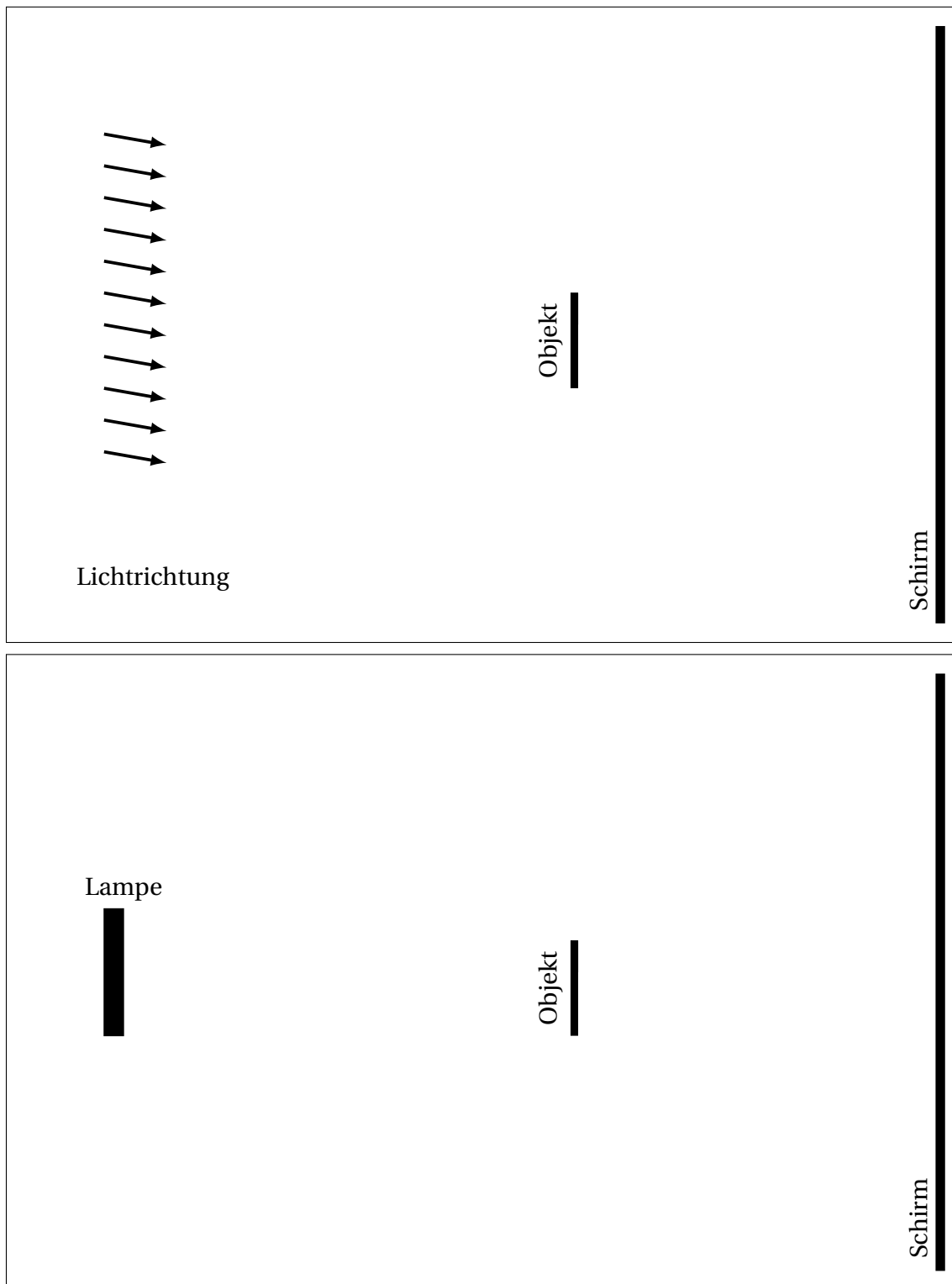
AUFGABE 1: Nennen Sie je drei Beispiele für eine Punktlichtquelle, einen Parallelstrahler und einen Flächenstrahler.

Reale Lichtquellen kann man meistens nicht eindeutig diesen drei Grundtypen zuordnen. Als Beispiel wollen wir die Sonne betrachten. Die Lichtstrahlen die auf der Erde an-

kommen sind nahezu parallel. Befindet man sich nahe der Sonnenoberfläche, so ist die Sonne ein Flächenstrahler. Aus sehr grosser Entfernung ist unsere Sonne ein Stern, also ein Punkt im dunklen Universum.

2 Licht und Schatten



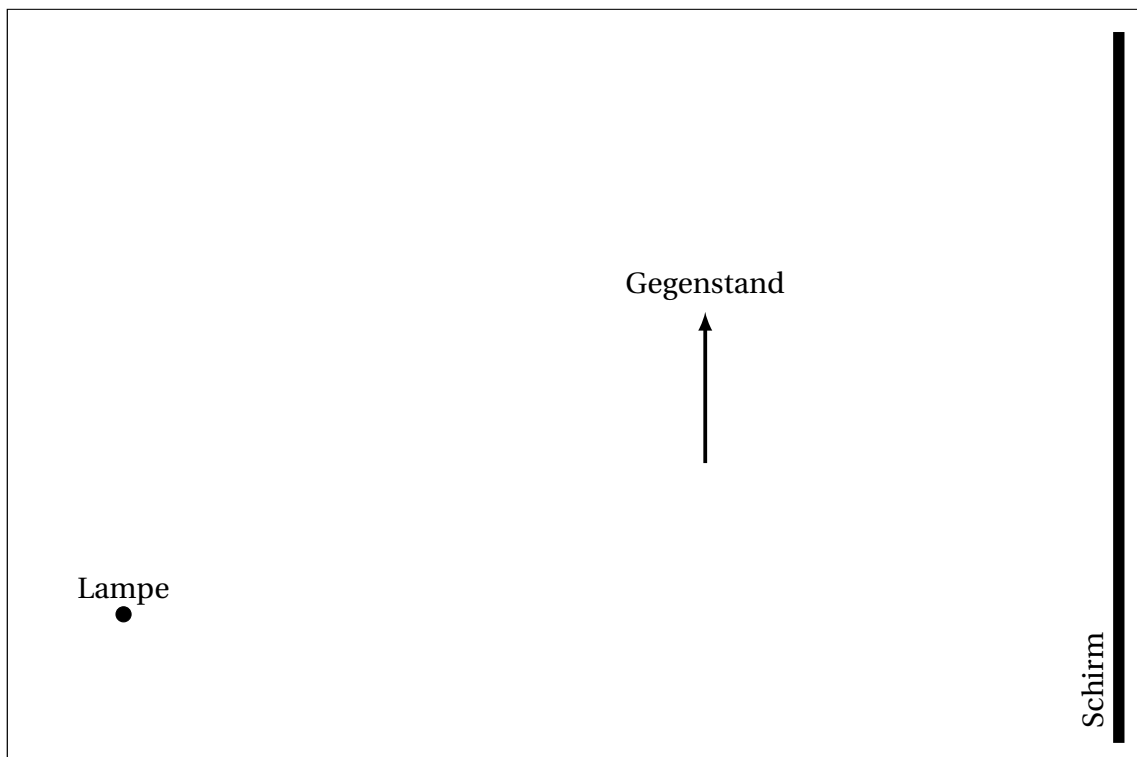


AUFGABE 2: Eratosthenes (*276 v. Chr., † 194 v. Chr. in Alexandria) wusste, dass am 21. Juni zu Mittag die Sonne über Assuan genau im Zenit steht. Der Boden eines Brunnen-schachtes wird vollständig von der Sonne beleuchtet. Zur selben Zeit wirft ein Obelisk im nördlich von Assuan gelegenen Alexandria einen Schatten. Nimmt man die Sonnenstrah-

len als parallel an, dann ist der Zenit etwa $7,5^\circ$ entfernt. Daher muss der Brunnenschacht in Assuan mit dem Obelisk in Alekandrien wegen der Krümmung der Erdoberfläche einen Winkel von $7,5^\circ$ einschliessen. Die Distanz zwischen Alexandria und Assuan beträgt etwa 5000 Stadien. Ein attisches Stadium beträgt 185 m. Berechne Erdumfang und Erdradius.

3 Bilder mit Licht und Schatten

AUFGABE 3: Konstruiere den Schlagschatten des Gegenstandes auf der Bildebene.



- Ist das Bild aufrecht oder verkehrt herum?
- Zeichne in der Figur die Grösse des Gegenstandes G und die Grösse des Bildes B ein.
- Zeichne die Gegenstandsweite g (Abstand Lampe – Gegenstand) und die Bildweite b (Abstand Lampe – Bild) ein.
- Um welchen Faktor wird das Bild im Vergleich zum Gegenstand vergrössert?
- Benutze b und g um die Vergrößerung auszudrücken.

AUFGABE 4: Fragen zur Vergrößerung:

- a) Wenn das Bild grösser als der Gegenstand ist, so ist der Zahlenwert der Vergrößerung
- b) Wenn das Bild kleiner als der Gegenstand ist, so ist der Zahlenwert der Vergrößerung
- c) Wird das Bild grösser oder kleiner, wenn man die Bildebene weiter von der Lampe entfernt?
- d) Wird das Bild grösser oder kleiner, wenn man den Gegenstand von der Lampe entfernt?

4 Lochkamera

AUFGABE 5: Konstruiere das Bild des Gegenstandes auf dem Schirm.



- a) Ist das Bild aufrecht oder verkehrt herum?
- b) Zeichne in der Figur die Grösse des Gegenstandes G und die Grösse des Bildes B ein.

- c) Zeichne die Gegenstandsweite g (Abstand Gegenstand – Blende) und die Bildweite b (Abstand Blende – Bild) ein.
- d) Um welchen Faktor wird das Bild im Vergleich zum Gegenstand vergrößert?
- e) Benutze b und g um die Vergrößerung auszudrücken.

AUFGABE 6: Die Höhe eines Obeliskens im Karnak-Tempel, 2,5 Kilometer nördlich von Luxor, soll bestimmt werden. Ein zwei Meter langer Stab wirft einen Schatten von 3,2 Meter. Der Schatten des Obeliskens ist 48 Meter lang.

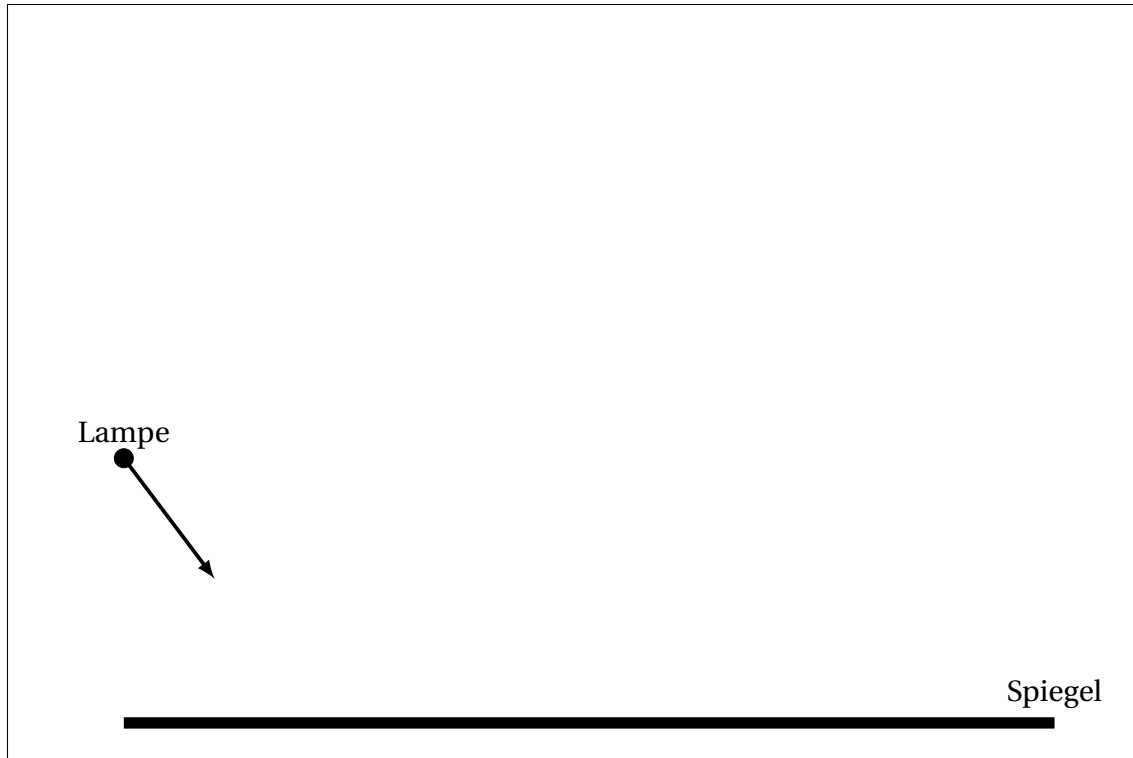
AUFGABE 7: Beim Fingerschattenspiel werden Schatten, die von der Hand geformt werden an eine Leinwand projiziert. Als Lichtquelle dient eine Kerze. Sie soll 25 cm von den Händen aufgestellt sein. Der Abstand von den Händen zur Wand soll 90 cm betragen. Wie gross erscheint der Schattenriss des 6,5 cm langen Daumens?

AUFGABE 8: Die Rückseite einer Lochkamera der Firma Kodak aus dem Jahre 1930 ist 4,25'' von der Blende entfernt. Eine 12 cm grosse Kerze ist 50 cm von der Kamera entfernt. Wie gross ist die Kerze auf dem Filmnegativ? Wie ist die Vergrößerung?

AUFGABE 9: Der Bildsensor einer digitalen Spiegelreflexkamera ist 22,2 mm breit und 14,8 mm hoch. Das Auflagemass, das ist der Abstand vom Bildsensor zum Objektivgewinde ist 44 mm. Schraubt man auf das Objektivgewinde eine Lochblende, steht diese weiter 5 mm hervor. In welcher Entfernung zur Kamera muss eine 1,70 m grosse Person mindestens stehen, um vollständig auf einem Foto zu erscheinen?

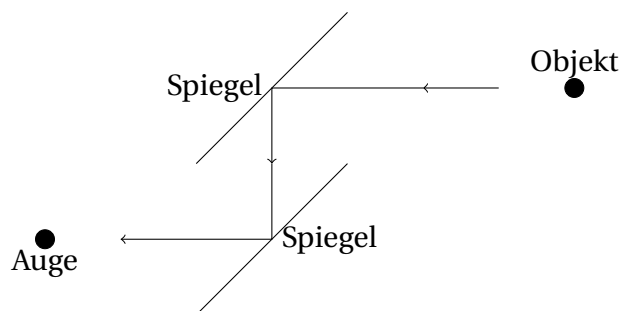
5 Reflexion und Streuung

AUFGABE 10: Zeichnen Sie den Lichtstrahl, der von der Lampe kommt weiter. Was passiert, wenn der Lichtstrahl auf den Spiegel trifft?

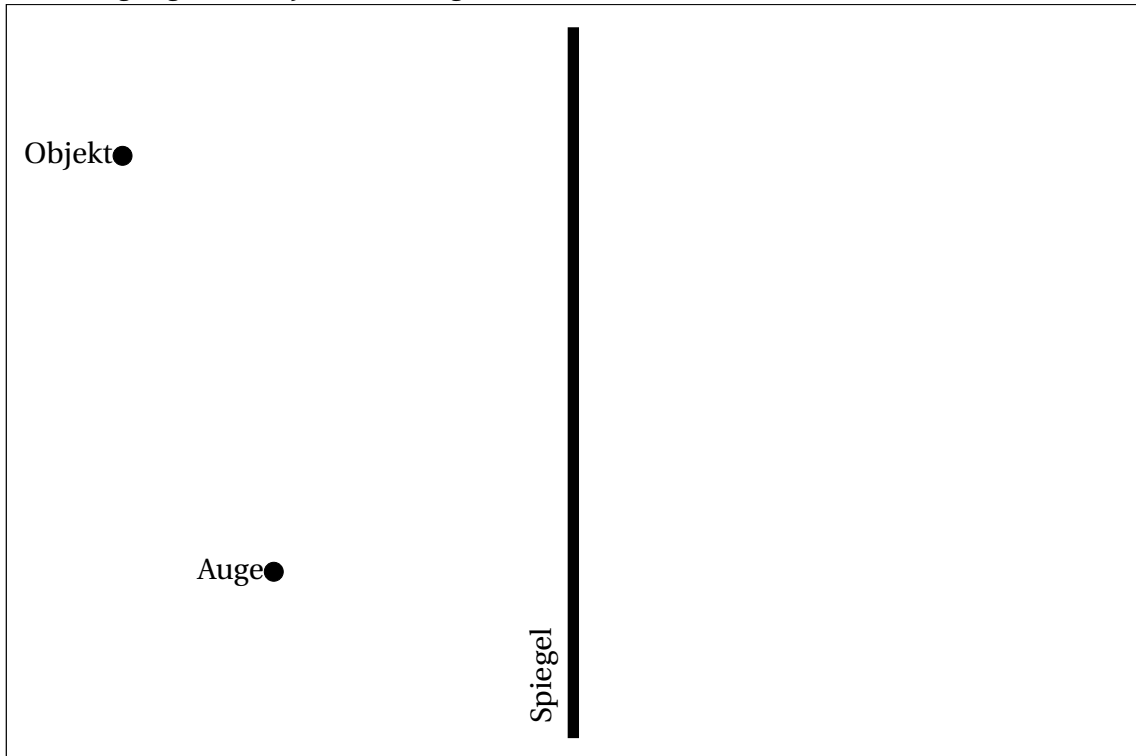


AUFGABE 11: Mit einem Spiegel kann man die Höhe eines Baumes bestimmen. Wollen Sie die Höhe eines besonders hohen Baumes bestimmen, so legen Sie einen kleinen Spiegel 40m von diesem Baum entfernt. Entfernen Sie sich vom Spiegel, bis Sie die Spitze des Baumes im Spiegel erkennen. Sie sind nun 2m vom Spiegel entfernt. Ihre Augen sind 1,6m über dem Boden. Wie hoch ist der Baum?

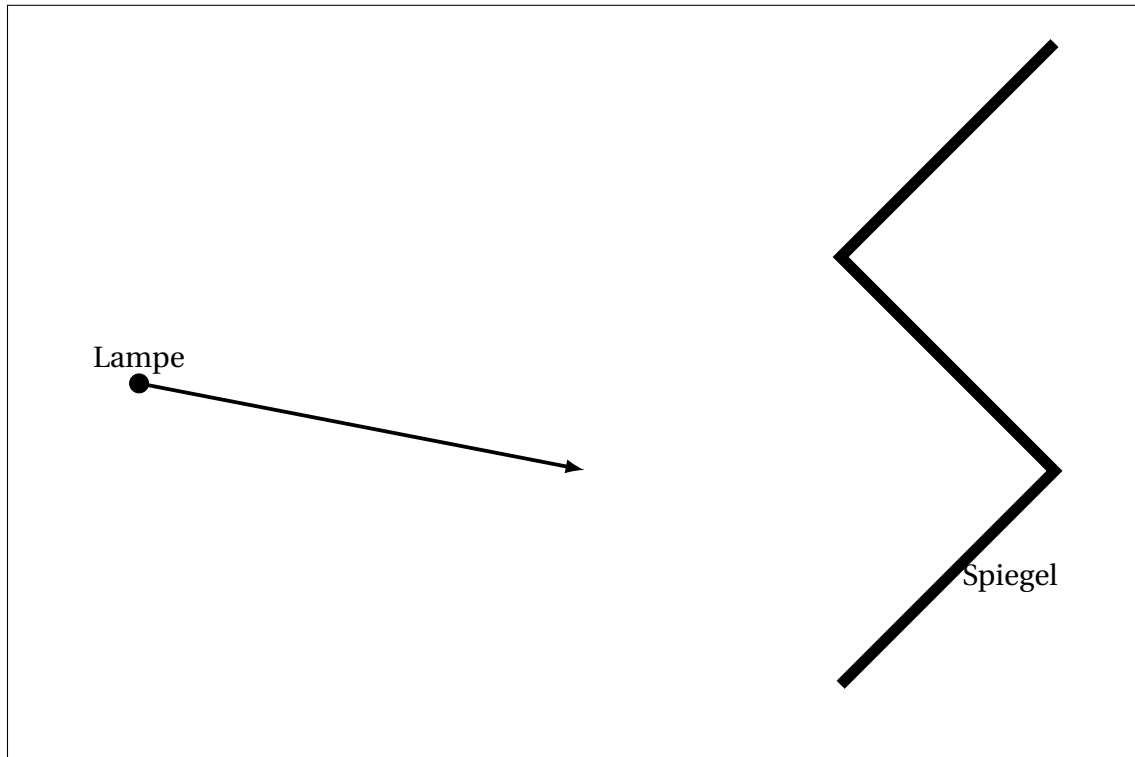
AUFGABE 12: Die Skizze zeigt den Aufbau eines Periskops. Dies wird z.B. in U-Booten benutzt. Ist das Bild, dass du beim Hindurchschauen durch das Periskop siehst aufrecht oder steht es auf dem Kopf?



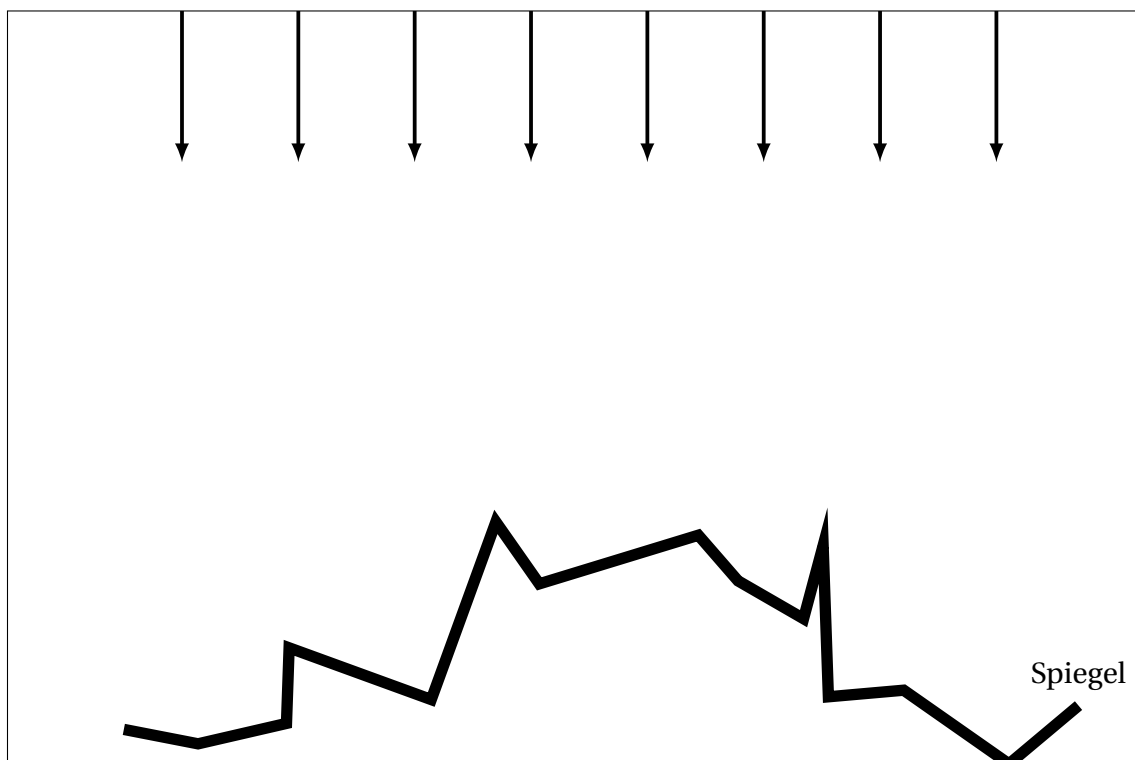
AUFGABE 13: Erinnern Sie sich an Spiegelungen in der Mathematik? Zeichnen Sie den Strahlengang vom Objekt zum Auge ein, ohne einen Winkel zu messen.



AUFGABE 14: In der Figur unten ist ein Spiegel zu sehen, der aus mehreren Elementen besteht, die in einem Winkel von 90° angeordnet sind. Zeichnen Sie den einfallenden Lichtstrahl weiter. Was gilt für den reflektierten Lichtstrahl?



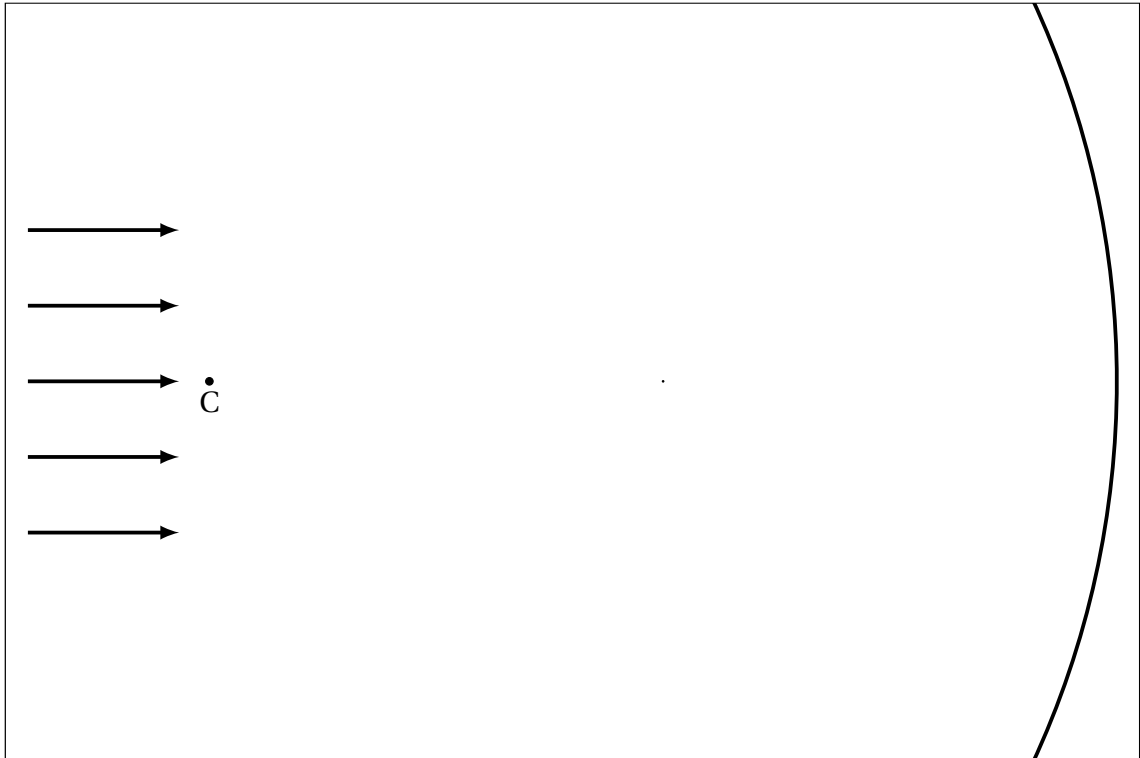
Tritt ein Lichtstrahl auf eine raue Oberfläche auf, wird er in verschiedene Richtungen abgelenkt. Diese Art der diffusen Reflexion nennt man Streuung.

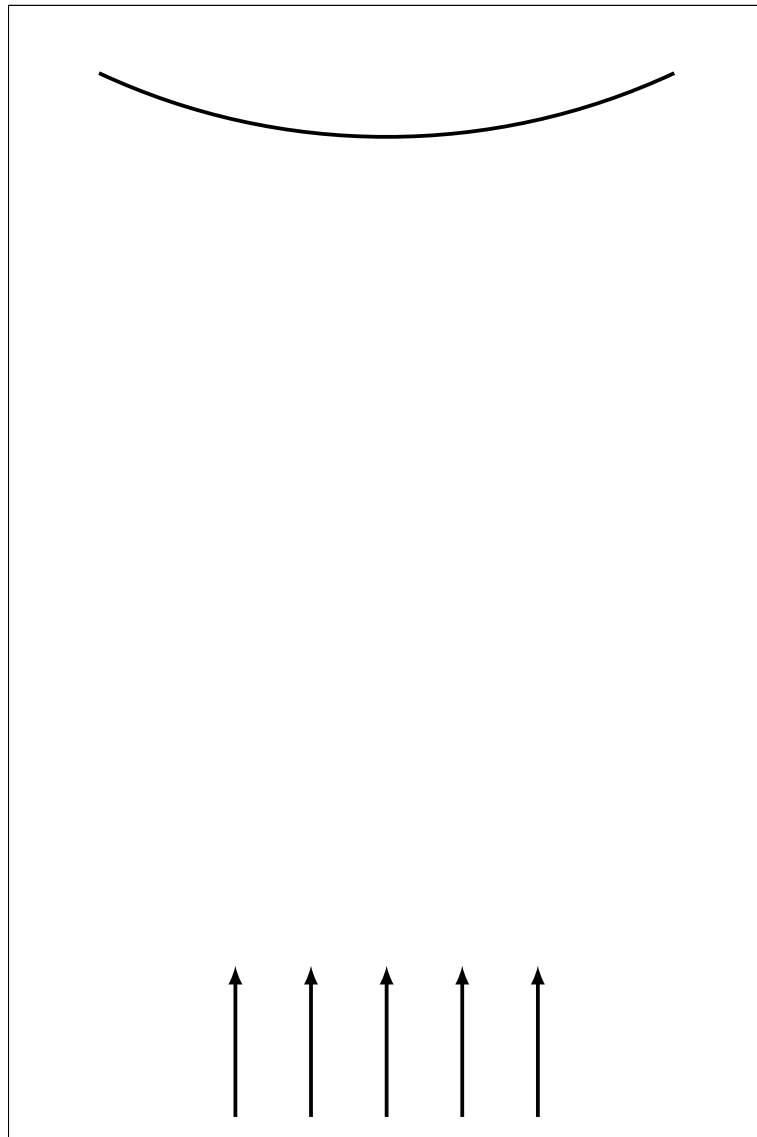


6 Gewölbte Spiegel

Im folgenden wollen wir das Reflexionsgesetz für gewölbten Spiegel anwenden.

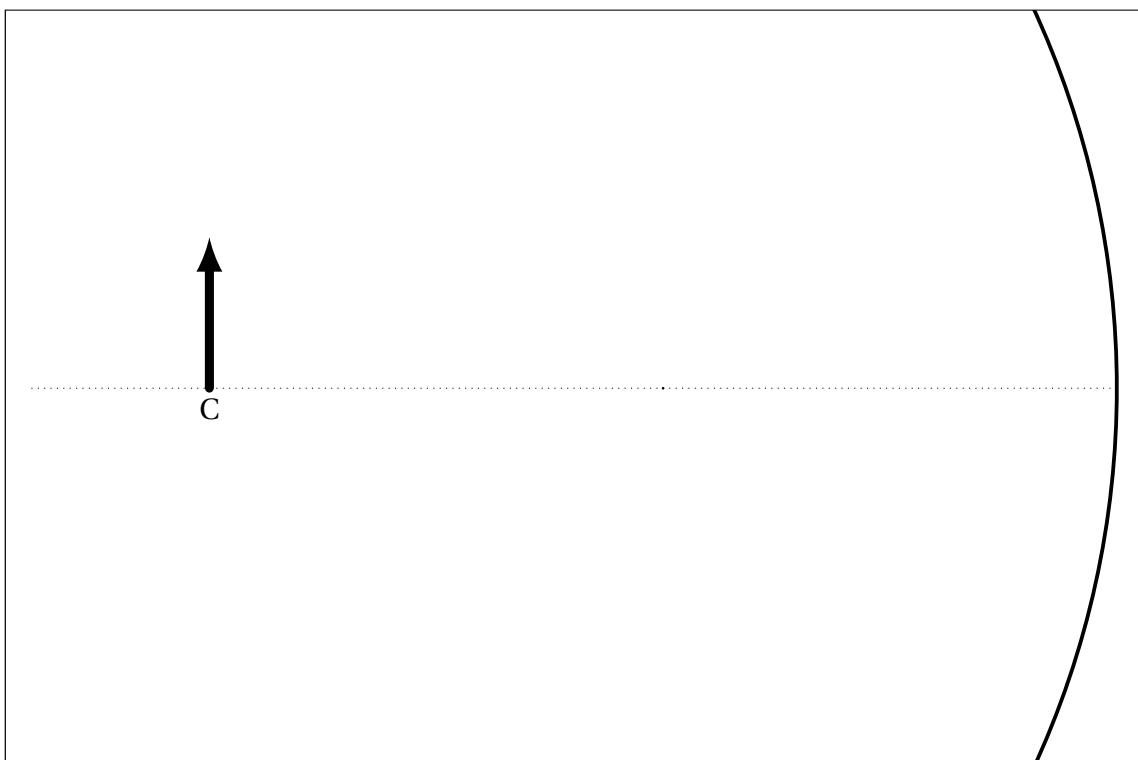
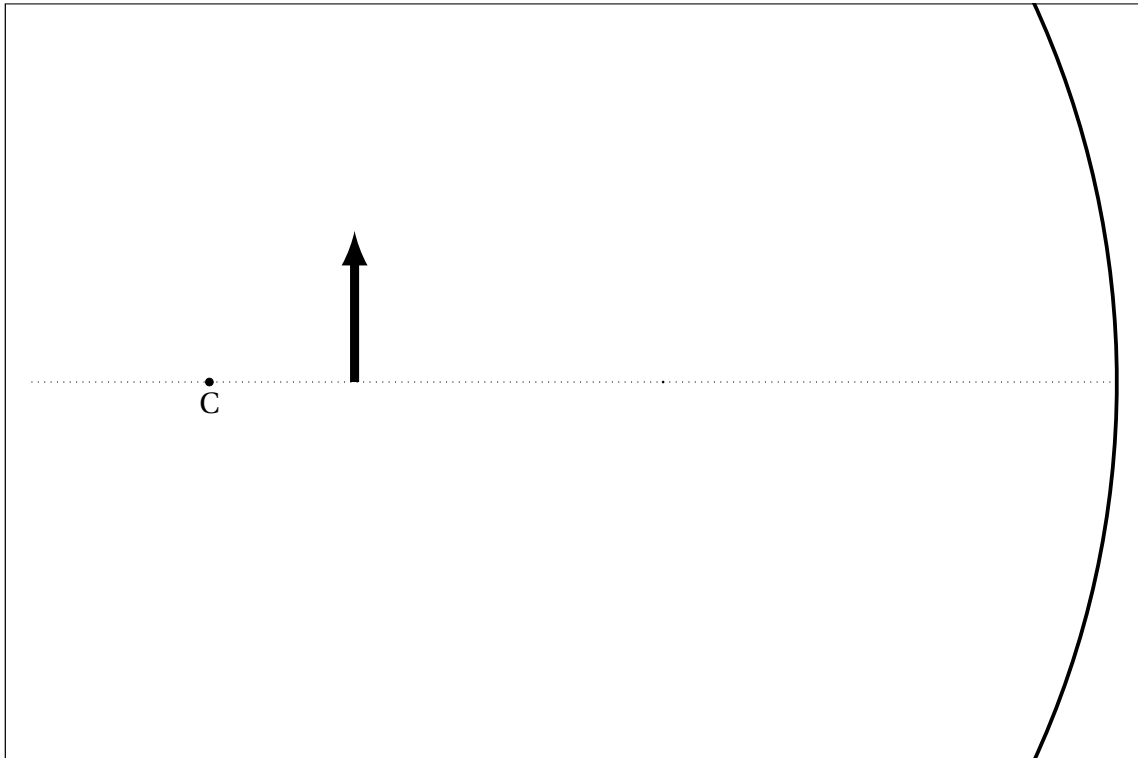
AUFGABE 15: Überlegen Sie, wie die parallel einfallenden Lichtstrahlen am Hohlspiegel (konkaver Spiegel) reflektiert werden.

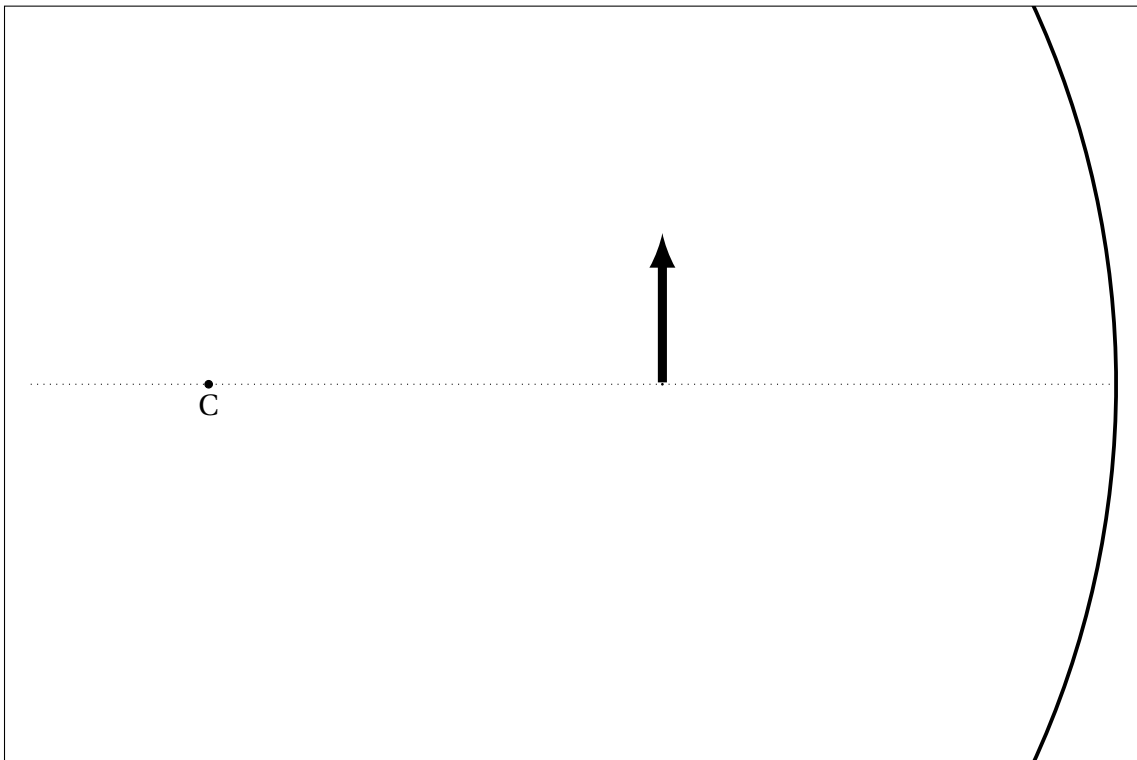
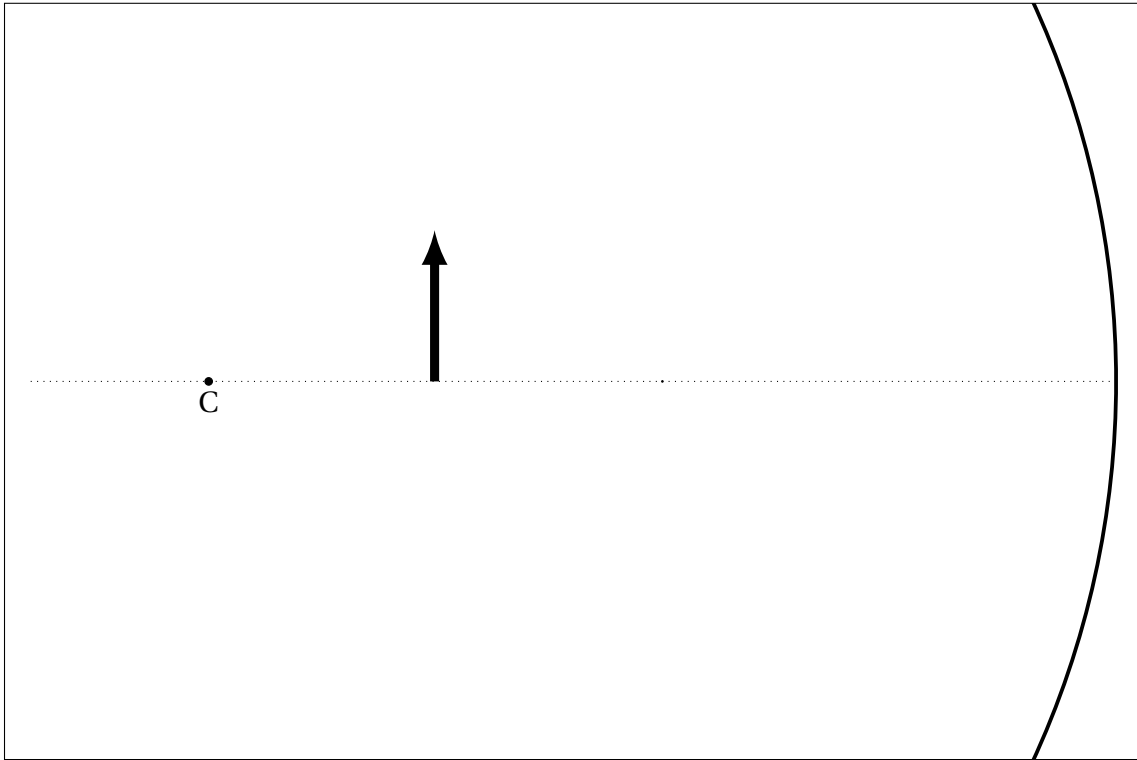


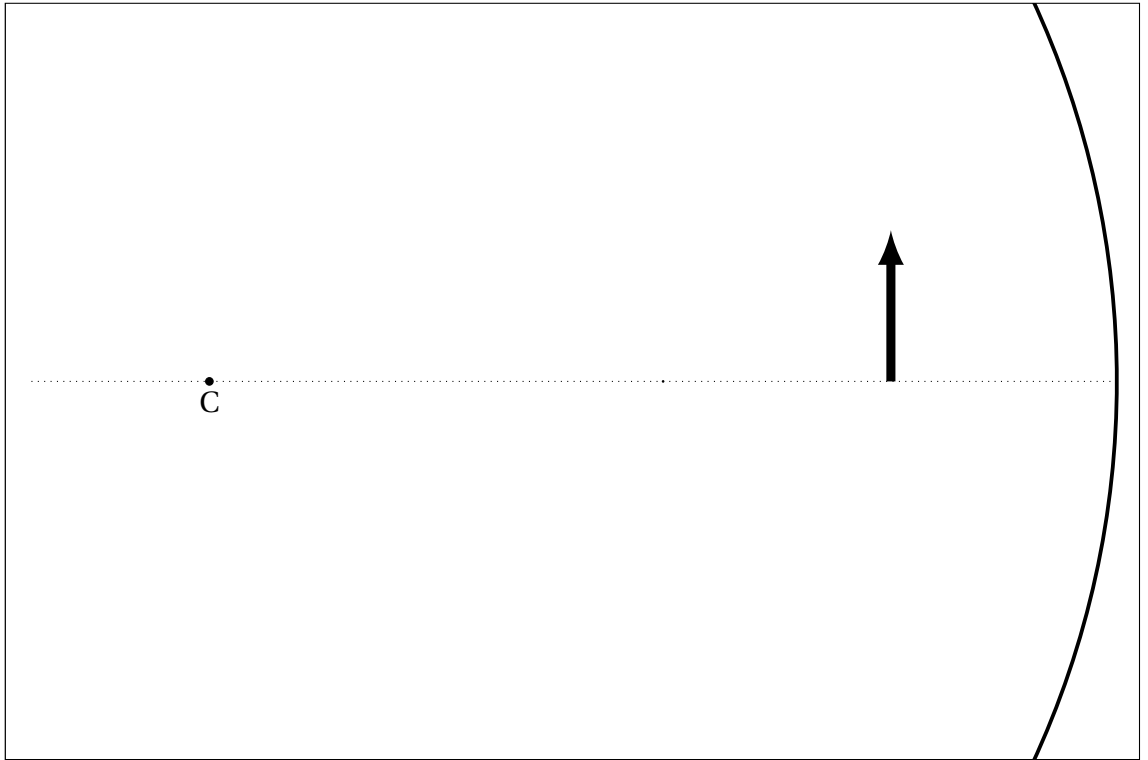


6.1 Abbildungen mit gewölbten Spiegeln

AUFGABE 17: Betrachten Sie sich in einem Hohlspiegel. Was sehen Sie? Ist das Bild abhängig vom Abstand zum Spiegel?



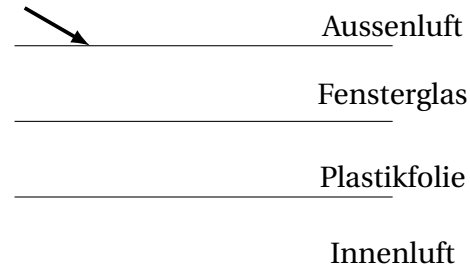




7 Brechung

AUFGABE 18: Zum Splitterschutz werden Fensterscheiben auf der Innenseite oft mit einer Plastikfolie versehen. Plastikfolie ist optisch dünner als Fensterglas.

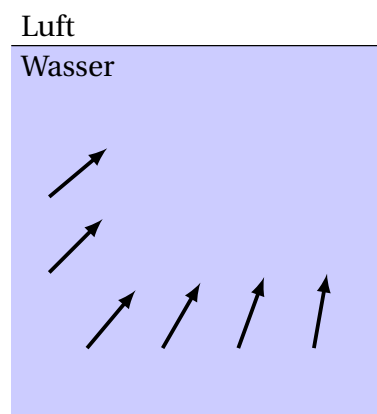
- Verlängere den eingezeichneten Lichtstrahl, so dass er einmal durch die gesamte Fensterscheibe geht.
- Erscheint die Umgebung beim betrachten durch die Scheibe verzerrt?



AUFGABE 19: Ein Lichtstrahl trifft auf eine Wasseroberfläche. Der Einfallswinkel beträgt 30° . Wie gross ist der Brechungswinkel?

AUFGABE 20: Ein Lichtstrahl trifft aus der Luft unter einem Einfallswinkel von 72° auf eine Diamantenoberfläche. Wie gross ist der Brechungswinkel?

AUFGABE 21: Bestimmen Sie die Brechungswinkel für den Übergang von Wasser zu Luft für die Winkel: 10° , 20° , 30° , 40° , 45° und 50° und zeichnen Sie die Lichtstrahlen in der Zeichnung weiter.

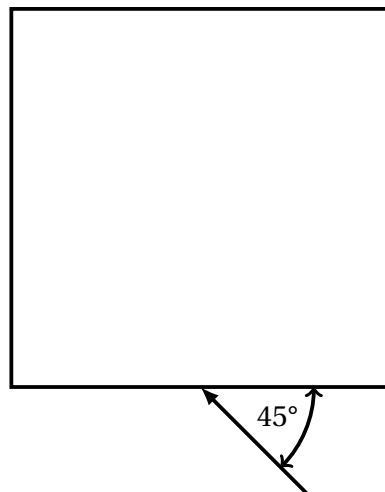
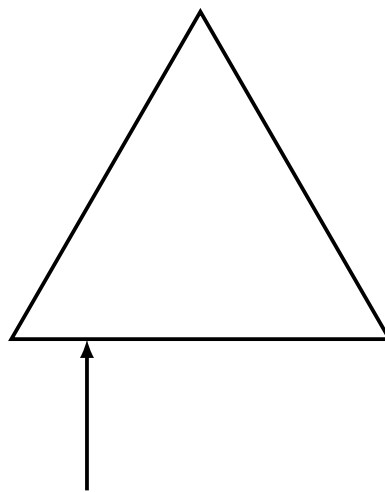


AUFGABE 22: Wie gross ist der Grenzwinkel für Totalreflexion beim Übergang zwischen Wasser und Luft? Wie gross ist er für den Übergang Diamant - Luft und für den Übergang

Diamant - Wasser?

AUFGABE 23: Diamant hat eine hohe optische Dichte. Dadurch ist der Grenzwinkel für totale Reflexion beim Übergang Diamant–Luft klein. Dies bewirkt, dass einmal vom Diamanten “eingefangenes” Licht nur schlecht wieder den Diamanten verlässt. Der Diamant funkelt.

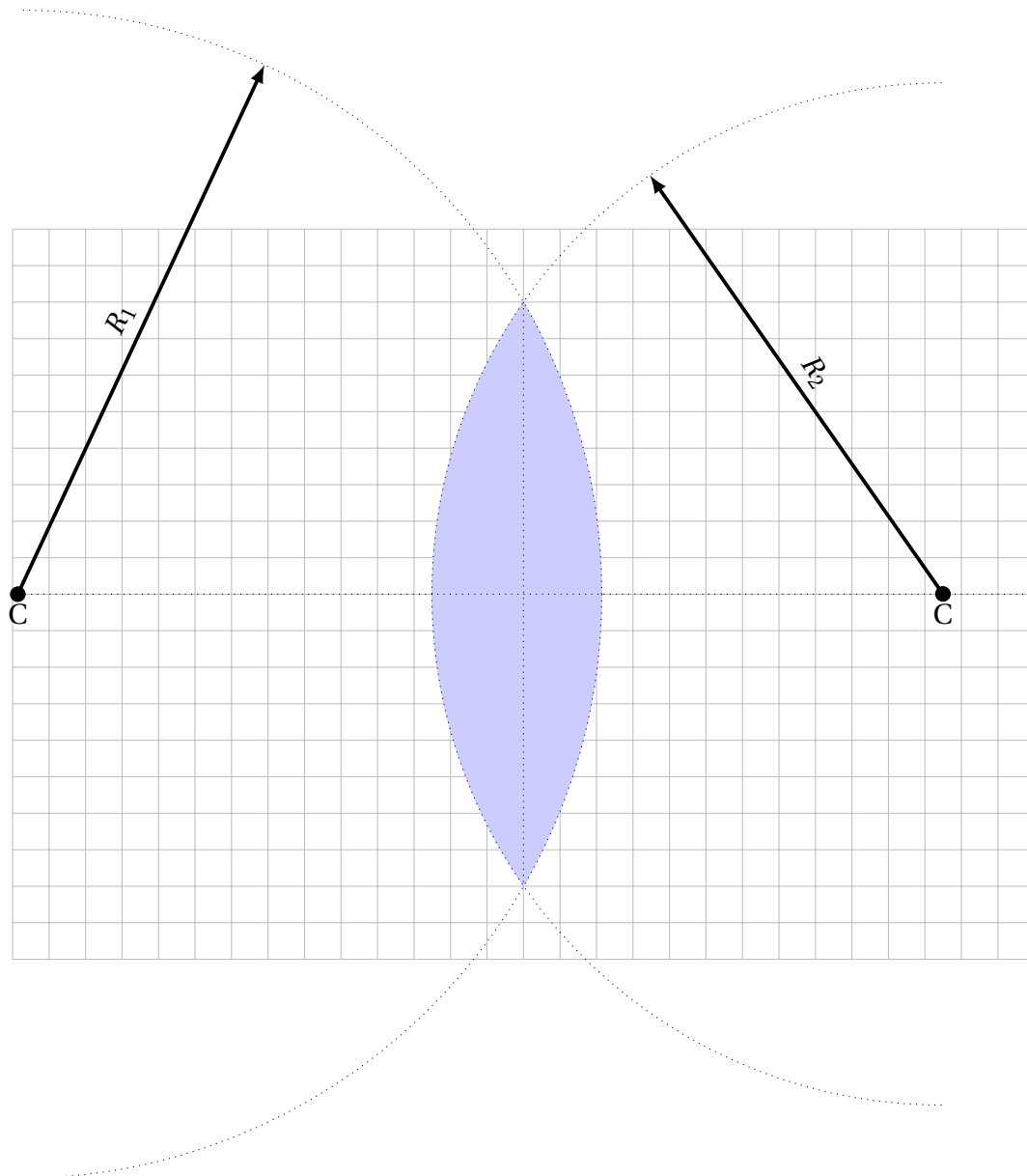
- a) Wie gross ist der Grenzwinkel der Totalreflexion für Diamant und Luft?
- b) Zeichnen Sie den Strahlengang durch die folgenden Diamanten und geben Sie alle Winkel an.



8 Linsen

Optische Linsen sind aus lichtdurchlässigen Materialien, wie Glas oder Plastik, manchmal auch aus durchsichtigen Kristallen. Einfache (sphärische) Linsen kann man sich aus einer Kugel geschnitten vorstellen. Der Kugelradius kann dabei verschieden gross sein. Beim Durchlauf des Lichtstrahl durch die Linse, passiert er zwei Grenzflächen, an denen er nach dem Brechungsgesetz gebrochen wird.

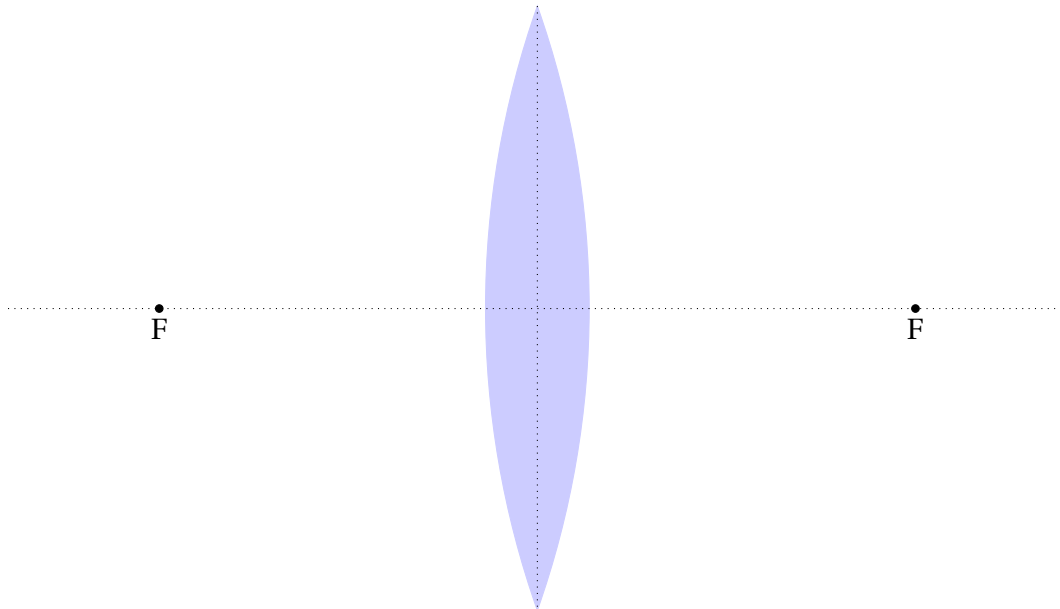
AUFGABE 24: Zeichnen Sie den vollständigen Strahlengang für mindestens zwei parallel einlaufende Lichtstrahlen. Die optische Dichte der Linse ist 1,5.



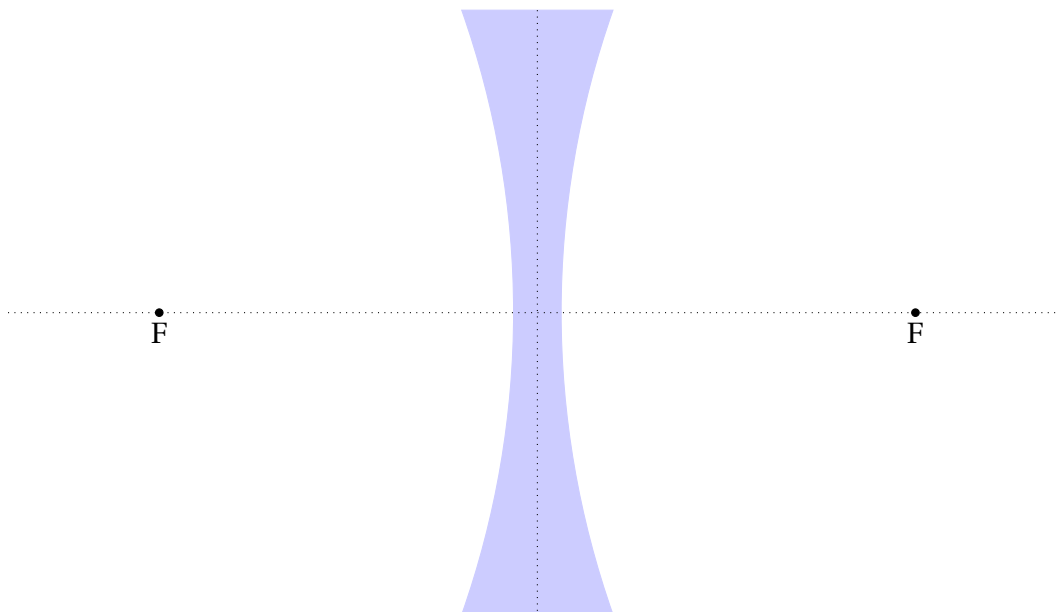
Linsen werden in sehr vielen optischen Geräten verwendet. Um deren Funktionsweise verstehen zu können, ist es meistens nicht nötig den genauen Strahlengang eines Licht-

strahl durch die Linse zu kennen. Für technische Anwendungen, und auch für unseren weiteren Unterricht, läuft ein parallel zur optischen Achse einlaufender Lichtstrahl, bis zur *Mittelebene* der Linse, und wird erst dort gebrochen.

AUFGABE 25: Zeichnen Sie den Strahlengang für einen parallel zur optischen Achse einlaufenden Lichtstrahl, für einen Lichtstrahl, der durch den Brennpunkt auf die Linse fällt und für einen Lichtstrahl, der durch den Mittelpunkt der Linse verläuft.

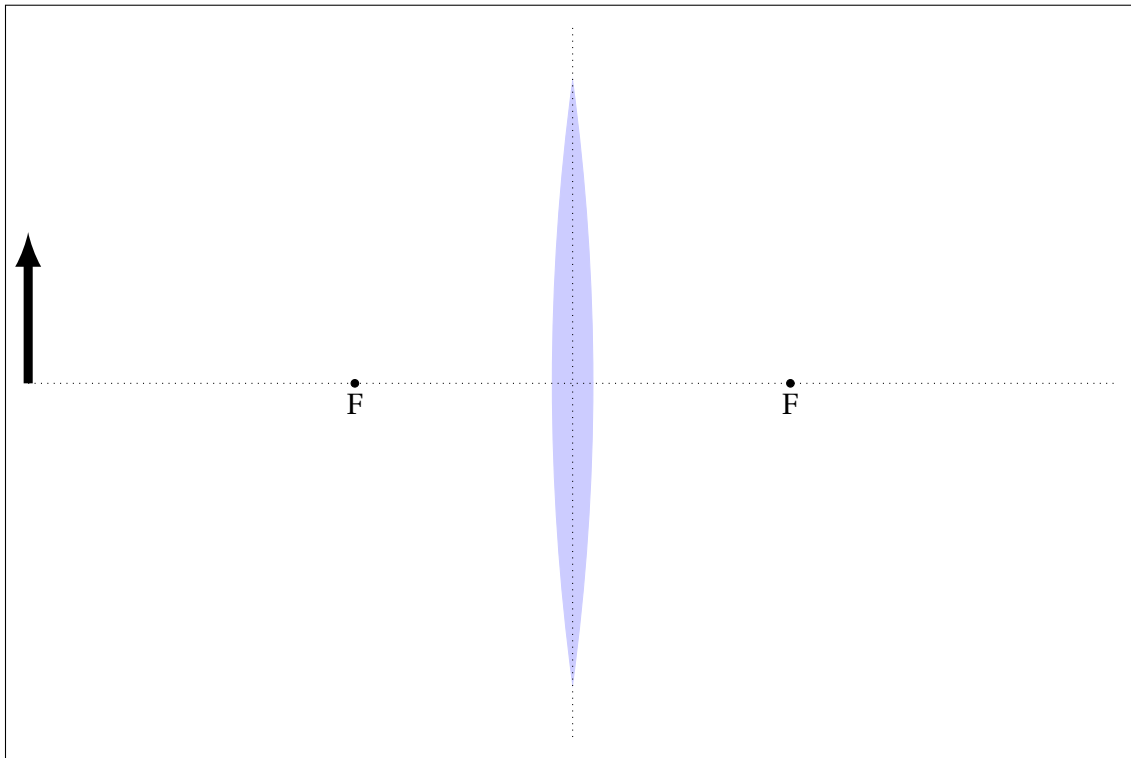


AUFGABE 26: Zeichnen Sie den Strahlengang für parallel zur optischen Achse einlaufende Lichtstrahlen ein.



9 Abbildungen mit Linsen

Eine Linse kann einen Gegenstand abbilden. Die Konstruktion verläuft sehr ähnlich wie bei der Abbildung am gewölbten Spiegel. Wir zeichnen jeweils den Parallelstrahl, den Brennpunktstrahl und den Mittelpunktstrahl von der Spitze des Gegenstands ein.



Aus geometrischen Überlegungen kann man für dünne Linsen eine Formel finden, die die Brennweite f , die Bildweite b und die Gegenstandsweite g miteinander in Beziehung setzt. Es gilt

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

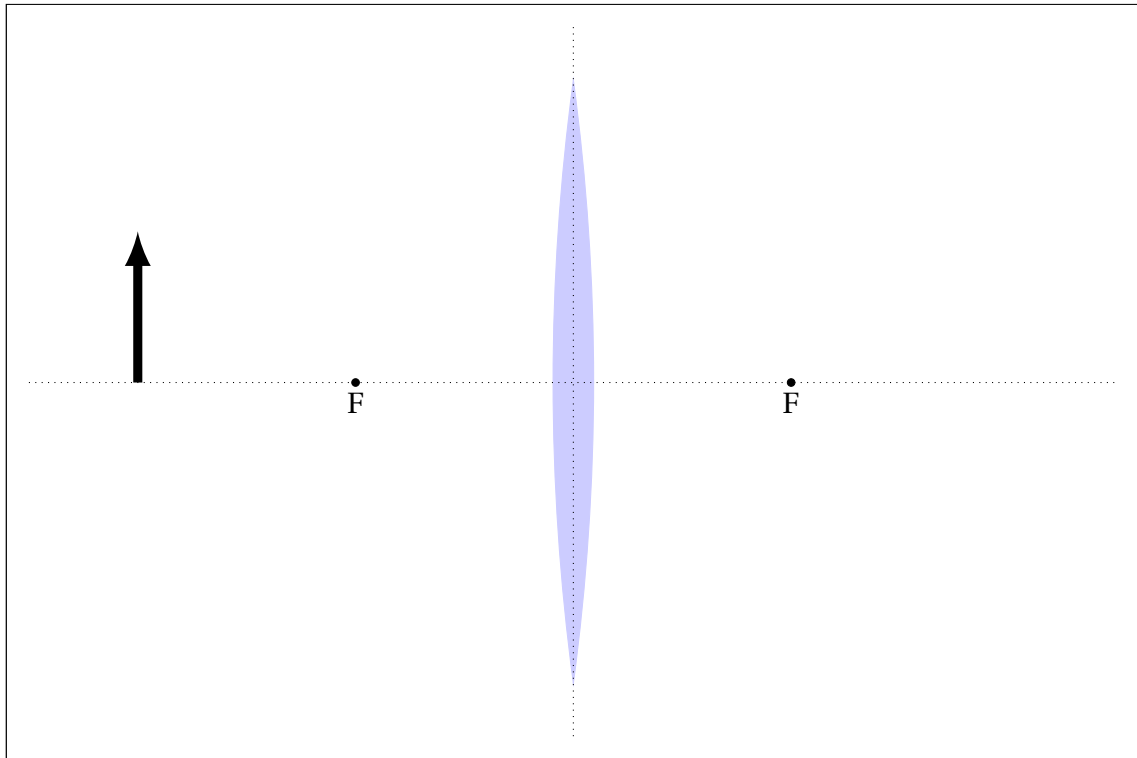
Zwischen der Grösse des Bildes B und der Grösse des Gegenstandes G gilt das selbe Verhältnis, wie wir es auch schon bei anderen Abbildungen gesehen haben

$$A = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}.$$

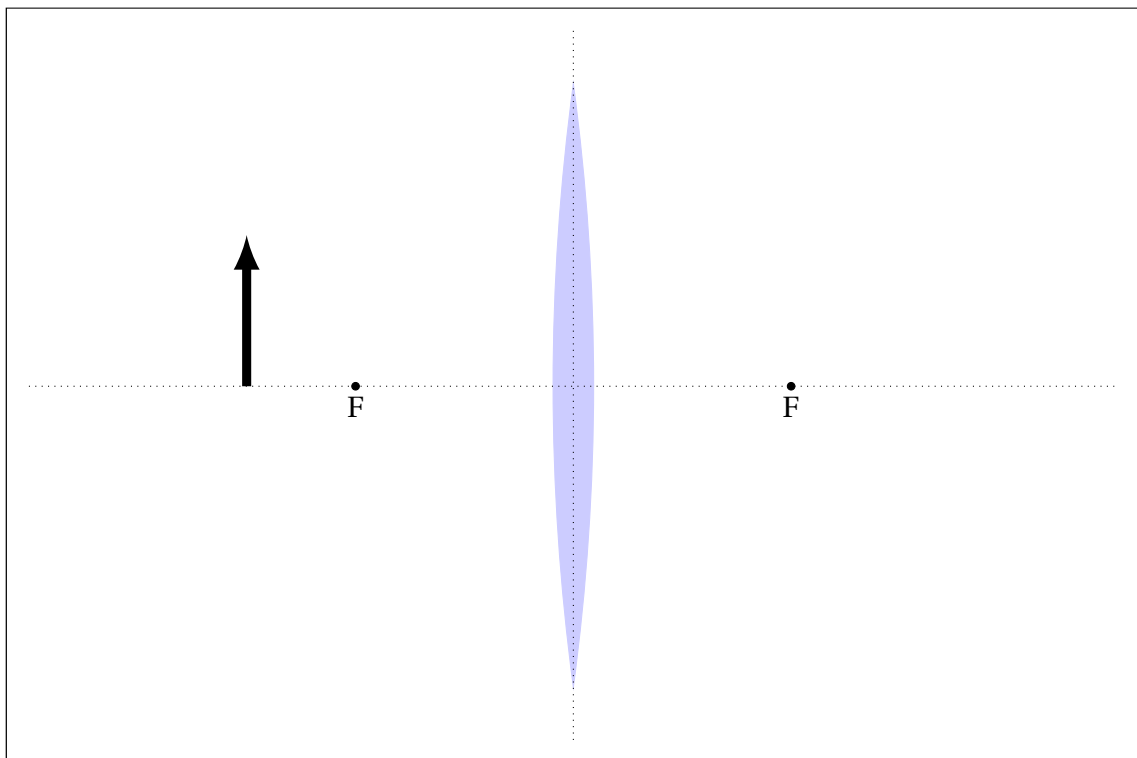
AUFGABE 27: Die Sammellinse eines Diaprojektors hat eine Brennweite von 10 cm. Ein Dia ($G = 36 \text{ mm}$) soll auf die Leinwand, die 2,5 m von der Linse entfernt ist, abgebildet werden.

- Wie weit ist die Linse vom Dia entfernt?
- Wie gross ist das Bild auf der Leinwand?

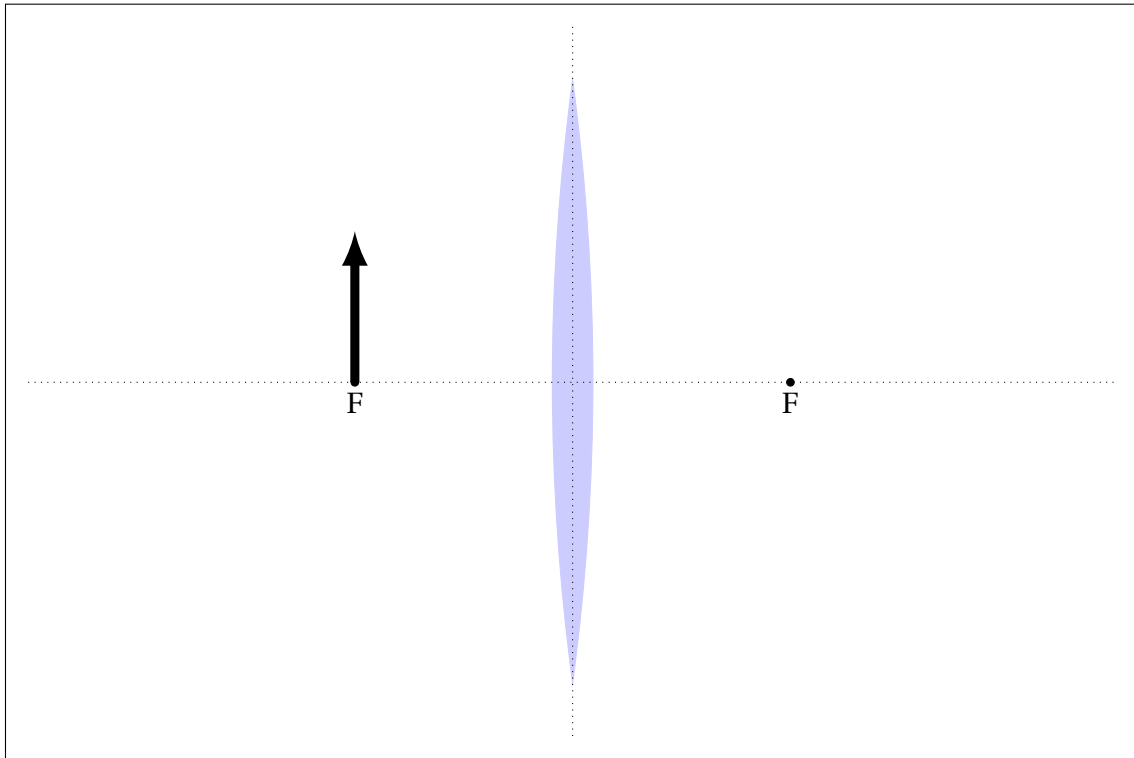
$$g = 2 \cdot f$$



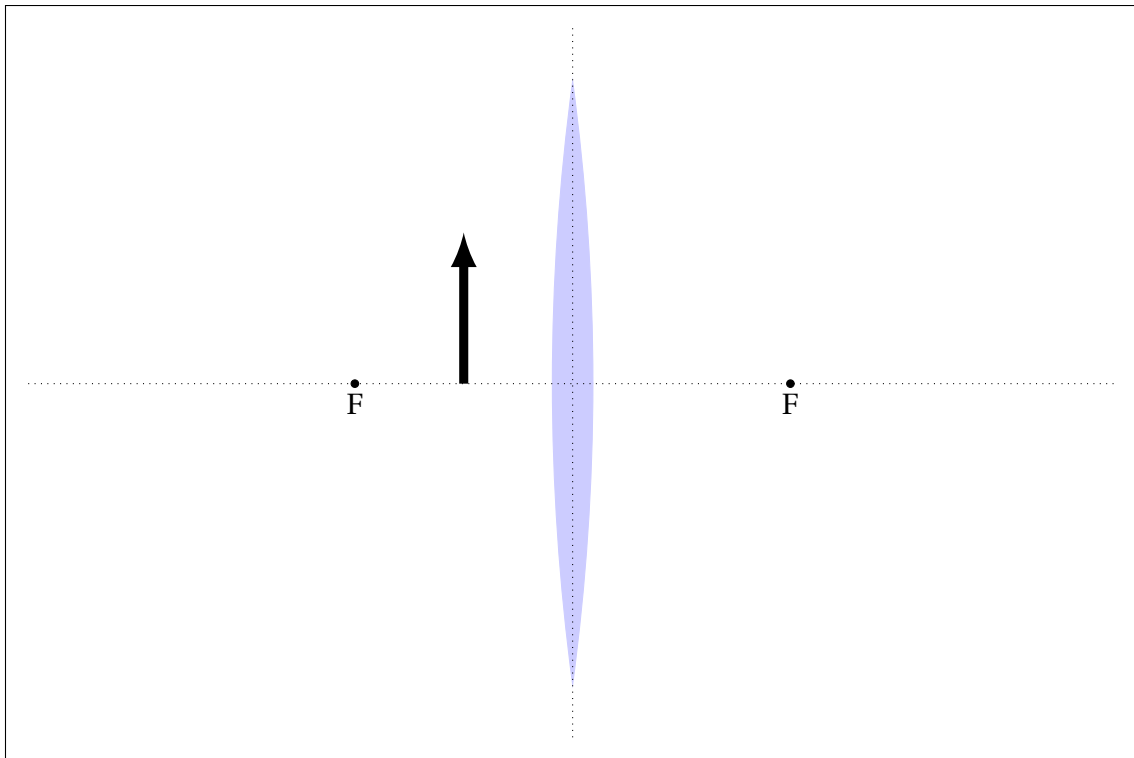
$$g > f \text{ und } g < 2 \cdot f$$



$$g = f$$

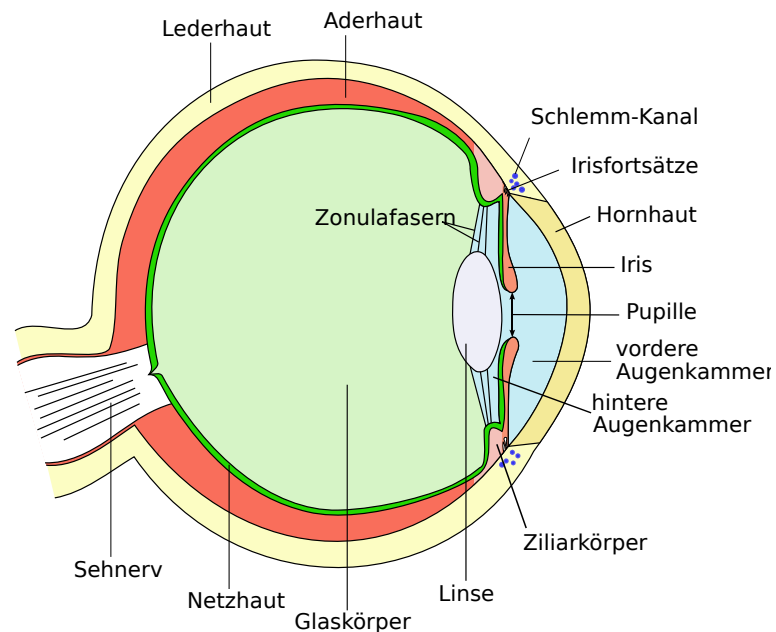


$$g < f$$



10 Optische Geräte

10.1 Das menschliche Auge



Licht tritt durch die Pupille ins Auge ein. Der Durchmesser der Pupille ist veränderlich. Ist es sehr hell verengt sich die Pupille, ist es dunkel öffnet sich die Pupille, dadurch kann mehr Licht in das Auge eindringen. Beim Fotoapparat erfüllt die Blende die Funktion der Pupille.

Die Netzhaut ist eine dünne lichtempfindliche Schicht aus Nervenzellen. Es gibt zwei verschiedene Typen von Nervenzellen auf der Netzhaut, die Stäbchen und die Zäpfchen. Die Zäpfchen können verschiedene Farben unterscheiden, während die Stäbchen nur zwischen hell und dunkel unterscheiden können. Ist es dunkel sprechen nur die Stäbchen an, und man kann keine Farben erkennen.

Die Form der Augenlinse, und damit auch die Brennweite der Linse, lässt sich durch die Ziliarkörper etwas verändern. Befindet sich ein Gegenstand nah am Auge, dann vergrößert der Ziliarkörper die Krümmung der Linse, dadurch verringert sich die Brennweite der Linse, und die Strahlen vom Gegenstand werden wieder auf die Netzhaut fokussiert. Befindet sich ein Gegenstand zu nah am Auge, kann dieses den Gegenstand nicht mehr scharf auf der Netzhaut abbilden. Der minimale Abstand, bei dem ein Gegenstand noch scharf dargestellt werden kann heisst Nahpunkt. Der Nahpunkt kann von Mensch zu Mensch verschieden sein, und ändert sich auch im Laufe des Lebens. Als Standardwert gilt ein Nahbereich von 25 Zentimetern.

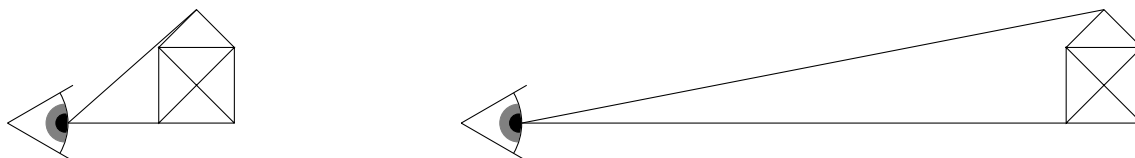
AUFGABE 28: Bestimmen Sie (am besten zu zweit) ihren persönlichen Nahpunkt.

AUFGABE 29: In welchem Bereich liegt die Brennweite des menschlichen Auges. Der Abstand Netzhaut–Linse soll 2,5 Zentimeter betragen.

10.2 Sehwinkel und Auflösung des Auges

Lichtstrahlen, die von einem Gegenstand ausgehen fallen unter einem bestimmten Winkel, dem *Sehwinkel* in unser Auge. Ist der Gegenstand nah, so ist der Sehwinkel gross. Entfernt man den Gegenstand, wird der Sehwinkel kleiner. Je nach Grösse des Sehwinkels erscheint uns der Gegenstand gross oder klein.

AUFGABE 30: Messen Sie mit einem Geodreieck den Sehwinkel in den zwei Skizzen. Welches Haus erscheint im Auge grösser?



AUFGABE 31: Finden Sie eine Formel für den Sehwinkel ϵ . Benutzen sie die Gegenstandsweite und die Gegenstandsgrösse.

AUFGABE 32: Sie haben in einem Buch gelesen, dass der minimale Sehwinkel, den das menschliche Auge noch auflösen kann etwa ein sechzigstel eines Grades gross ist. Welchen Abstand müssen zwei Punkt mindestens voneinander haben, wenn Sie diese mit ihrem Auge noch als zwei separate Punkte erkennen wollen. Berechnen Sie den Abstand am Nahpunkt des Auges bei 25 Zentimetern.

AUFGABE 33: Sie machen mit ihrem Handy ein Foto, und wollen es später ausdrucken lassen. Die Kamera in ihrem Handy schafft eine Auflösung von 3264×2448 Pixeln.

- Wie viele Pixel hat ihre Kamera?
- In welcher grösse können Sie das Foto ausdrucken lassen, ohne Qualitätsverluste festzustellen (sie wollen das Foto wie in Aufgabe 32 im Abstand von 25 Zentimetern betrachten können).
- Sie wollen das Foto ganz gross zeigen, und vergrössern es soweit, dass jedes Pixel 1cm^2 gross ist. Wie gross wird dann das Foto? Aus welchem Abstand müssten Sie es betrachten, damit es für Sie aussieht wie in Aufgabenteil b).

Musterlösungen

LÖSUNG 6: Der Stab und sein Schatten soll benutzt werden, um die Höhe des Obeliskens zu bestimmen. Die Vergrößerung (der Abbildungsmaßstab) von Stab und Schatten und Obelisk und dessen Schatten sind gleich gross, da die Sonne als Parallelstrahler angesehen werden kann.

$$V = \frac{B}{G} = \frac{3,2 \text{ m}}{2 \text{ m}} = 1,6$$

Damit lässt sich die Höhe des Obeliskens bestimmen:

$$V = \frac{B}{G} \rightarrow G = \frac{B}{V} = \frac{48 \text{ m}}{1,6} = 30 \text{ m}.$$

LÖSUNG 7: Zum Lösen der Aufgabe ist eine Skizze empfehlenswert.

$$V = \frac{b}{g} = \frac{90 \text{ cm}}{25 \text{ cm}} = 3,6$$

$$V = \frac{B}{G} \rightarrow B = V \cdot G = 3,6 \cdot 6,5 \text{ cm} = 23,4 \text{ cm}.$$

LÖSUNG 8: Zum Lösen der Aufgabe ist eine Skizze empfehlenswert. Die Bildweite ist $b = 4,25'' = 10,8 \text{ cm}$.

$$V = \frac{b}{g} = \frac{10,8 \text{ cm}}{50 \text{ cm}} = 0,22$$

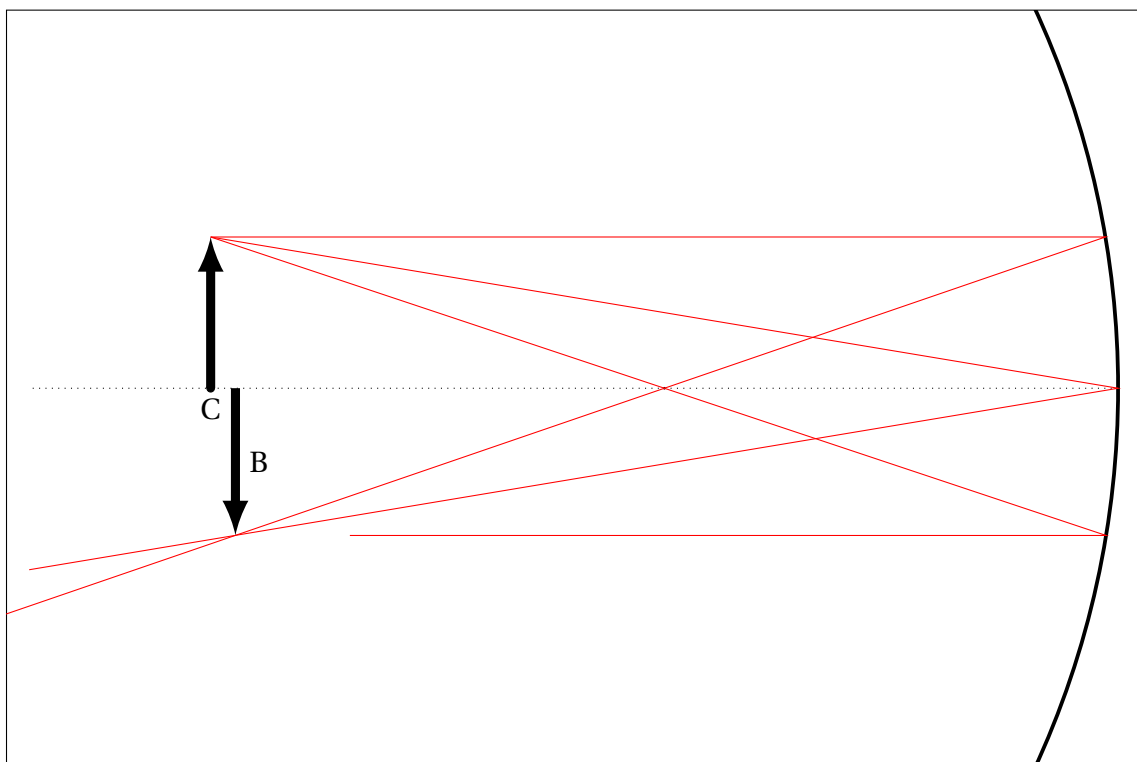
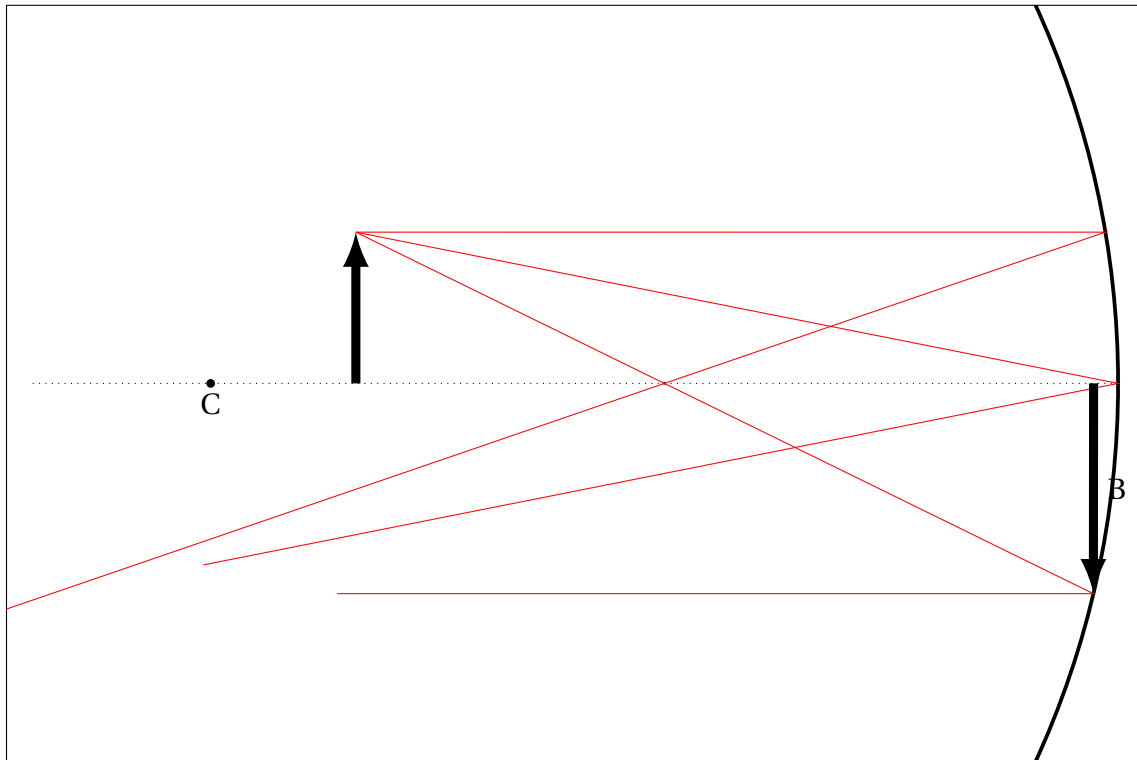
$$V = \frac{B}{G} \rightarrow B = V \cdot G = 0,22 \cdot 12 \text{ cm} = 2,59 \text{ cm}.$$

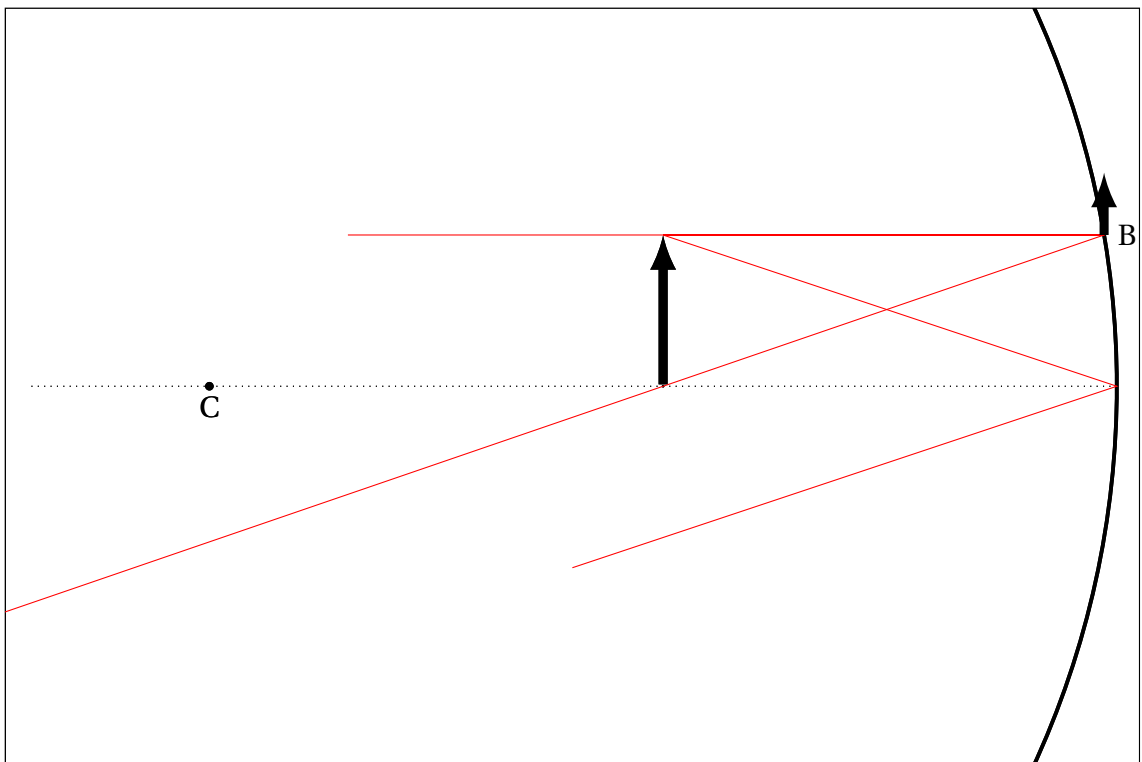
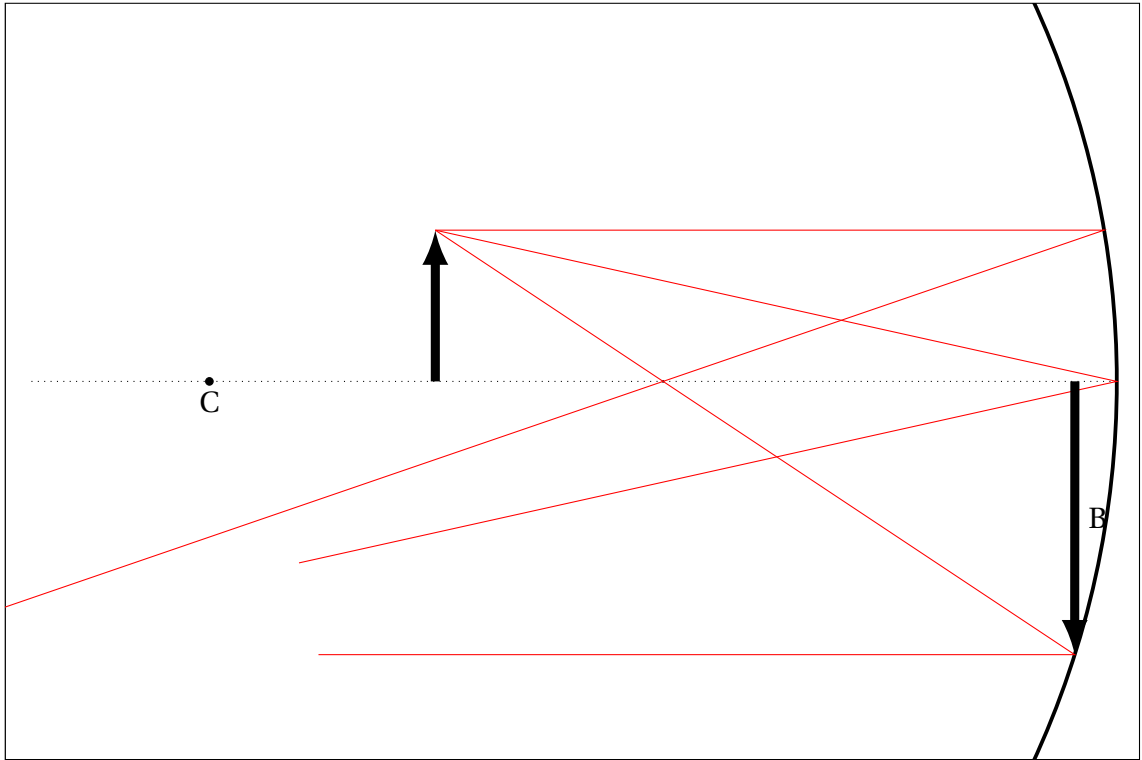
LÖSUNG 9: Zum Lösen der Aufgabe ist eine Skizze empfehlenswert. Die Bildweite ist $b = 44 \text{ mm} + 5 \text{ mm} = 49 \text{ mm}$.

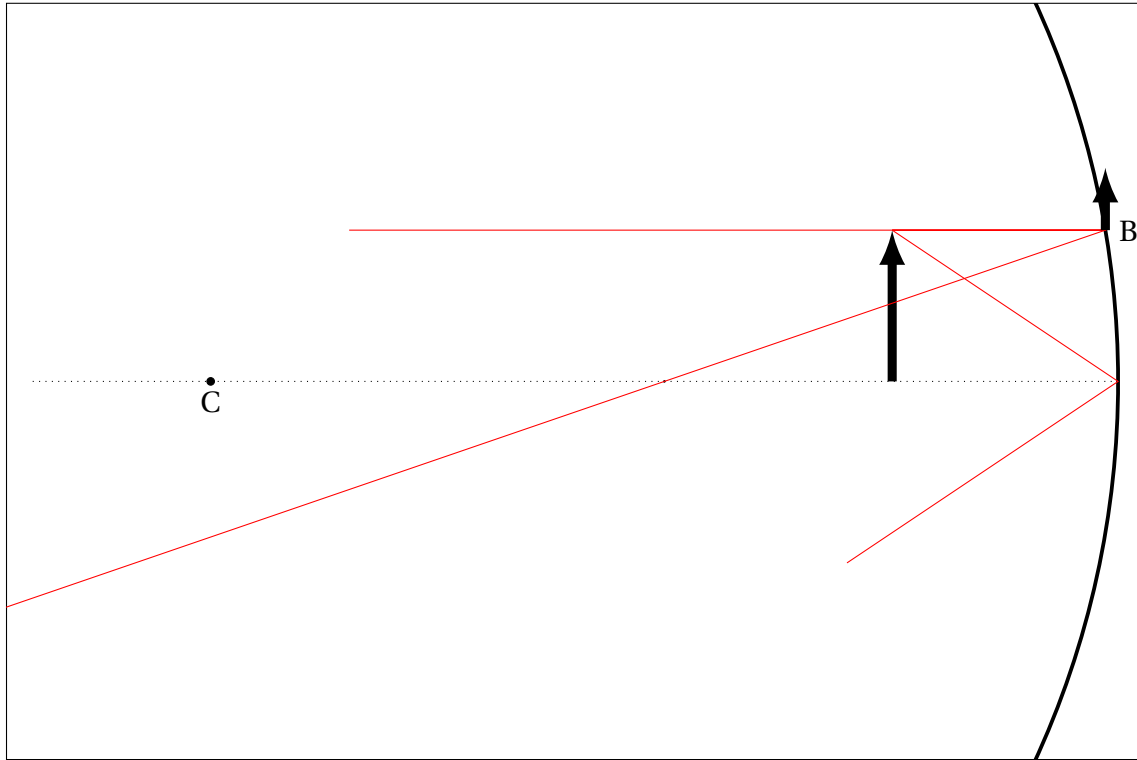
$$V = \frac{B}{G} = \frac{14,8 \text{ mm}}{1,7 \text{ m}} = 0,0087$$

$$V = \frac{b}{g} \rightarrow g = \frac{b}{V} = \frac{49 \text{ mm}}{0,0087} = 5628,4 \text{ mm} \approx 5,63 \text{ m}$$

LÖSUNG 17:







LÖSUNG 19: Es ist nützlich eine Skizze zu machen.

$$n_1 \cdot \sin \alpha_1 = n_2 \cdot \sin \alpha_2 \rightarrow \sin \alpha_2 = \frac{\sin \alpha_1}{n_2} = \frac{\sin 30^\circ}{1,333} = 0,375$$

Damit ist der Brechungswinkel etwa 22° .

LÖSUNG 21: Es ist nützlich eine Skizze zu machen.

$$n_1 \cdot \sin \alpha_1 = n_2 \cdot \sin \alpha_2 \rightarrow \sin \alpha_2 = \frac{\sin \alpha_1}{n_2} = \frac{1,333 \cdot \sin 10^\circ}{1} = 0,23$$

Einfallswinkel 10° Brechungswinkel etwa 13° .

Einfallswinkel 20° Brechungswinkel etwa 27° .

Einfallswinkel 30° Brechungswinkel etwa 42° .

Einfallswinkel 40° Brechungswinkel etwa 59° .

Einfallswinkel 45° Brechungswinkel etwa 70° .

Einfallswinkel 50° hier gibt es keinen Brechungswinkel.

LÖSUNG 22: Es gilt das Brechungsgesetz. Wenn ein Lichtstrahl aus einem optisch dichteren in ein optisch dünneres Material wechselt, dann wird der Lichtstrahl vom Lot weg gebrochen. Das heisst, der Brechungswinkel ist grösser als der Einfallswinkel. Zur Totalreflexion kommt es, wenn der Brechungswinkel gleich 90° ist.

$$n_1 \cdot \sin \alpha_1 = n_2 \cdot \sin \alpha_2 \rightarrow \sin \alpha_1 = \frac{n_2}{n_1} \cdot \sin \alpha_2 = \frac{n_2}{n_1} \cdot \sin 90^\circ = \frac{n_2}{n_1}$$

Nun können wir die einzelnen Fälle untersuchen:

$$\text{Wasser – Luft: } \sin \alpha_1 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{1,333} \rightarrow \alpha_1 = 48,6^\circ$$

$$\text{Diamant – Luft: } \sin \alpha_1 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{2,0} \rightarrow \alpha_1 = 48,6^\circ$$

$$\text{Diamant – Wasser: } \sin \alpha_1 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1,333}{2,0} \rightarrow \alpha_1 = 48,6^\circ$$

LÖSUNG 28: Der Nahpunkt variiert von Person zu Person, und kann zwischen 10 und 200 Zentimetern liegen. Als Standardwert gilt ein Nahbereich von 25 Zentimetern.

LÖSUNG 29: Ist ein Gegenstand weit entfernt ($g = \infty$), dann ist die Augenlinse beim Betrachten entspannt. Aus der Linsengleichung wird in diesem Fall ($1/g \rightarrow 0$)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} = \frac{1}{2,5 \text{ cm}}.$$

Die Brennweite ist dann also 2,5 cm.

Ist der Gegenstand nah am Auge, hier $g = 25 \text{ cm}$, dann gilt

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g} = \frac{1}{2,5 \text{ cm}} + \frac{1}{25 \text{ cm}} = 0,4 \text{ cm}^{-1} + 0,04 \text{ cm}^{-1} = 0,44 \text{ cm}^{-1}.$$

Damit ist die Brennweite für diesen Fall $f = 2,27 \text{ cm}$.

LÖSUNG 31:

$$\tan \epsilon = G/g$$

G ist die Gegenstandsgrösse und g ist die Gegenstandsweite.

LÖSUNG 32: Wir benutzen die Formel für den Sehwinkel. G ist gesucht, die anderen Angaben stehen in der Aufgabe.

$$\tan \epsilon = \frac{G}{g} \rightarrow G = \tan \epsilon \cdot g = \tan\left(\frac{1}{60}\right) \cdot 0,25 \text{ m} = 2,91 \cdot 0,25 \text{ m} = 7,3 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 73 \mu\text{m}$$

Sind zwei Punkte also näher als $73 \mu\text{m}$ von einander entfernt, kann das Auge sie nicht mehr als zwei Punkte erkennen, wenn sie nicht näher als 25 cm vor dem Auge sind.

LÖSUNG 33:

- a) Es sind 3264 mal 2448 Pixel. Das sind total 7990 272 Pixel. Die Kamera hat also 8 Megapixel.
- b) In der Aufgabe 32 haben wir den minimalen Abstand zwischen zwei Punkten berechnet. Das können wir hier nutzen.

$$3264 \cdot 73 \mu\text{m} = 0,24 \text{ cm}$$

$$2448 \cdot 73 \mu\text{m} = 0,18 \text{ cm}$$

c) Ist jedes Pixel 1 cm mal 1 cm gross, dann ist das Foto insgesamt

$$3264 \cdot 1 \text{ cm} = 3264 \text{ cm} = 32,64 \text{ m}$$

$$2448 \cdot 1 \text{ cm} = 2448 \text{ cm} = 24,48 \text{ m}$$

gross. Damit das grosse Foto so aussieht wie das kleine, muss der Sehwinkel gleich gross sein. Es muss gelten:

$$\tan \epsilon = \frac{G_{\text{klein}}}{g_{\text{klein}}} = \frac{G_{\text{gross}}}{g_{\text{gross}}}.$$

Auflösen der Formel nach g_{gross} und einsetzen der Werte ergibt:

$$g_{\text{gross}} = \frac{G_{\text{gross}}}{G_{\text{klein}}} \cdot g_{\text{klein}} = \frac{32,64 \text{ m}}{0,24 \text{ m}} \cdot 0,25 \text{ m} = 34 \text{ m}.$$

Betrachtet man das grosse Foto aus einem Abstand von 34 m sieht es aus, wie das kleine Foto in einem Abstand von 25 cm.
