

B | Optik

Du kannst in diesem Kapitel entdecken, ...

wie Spiegelbilder entstehen und wie das Reflexionsgesetz lautet.

wie Licht beim Übergang zwischen zwei lichtdurchlässigen Materialien gebrochen wird.

was Sammellinsen sind und wie du markante Größen wie Brennpunkt oder Bildweite bestimmen kannst.

wie du reelle und virtuelle Bilder von Sammellinsen konstruieren kannst.

wie wir mit unserem Auge nahe und weit entfernte Bilder scharf wahrnehmen können.

6 Spiegelung



7 Brechung



8 Linsen



9 Auge und moderne Optik





6 Spiegelung

Versuche und Materialien zu Kapitel 6.2

M1 Achtung – toter Winkel!

Neben jedem Auto befindet sich ein Bereich, den Autofahrer trotz Spiegel nicht einsehen können. Als Radfahrer oder Fußgänger bleibt man daher besser hinter dem Auto. Denke daran: Wenn du den Fahrer im Spiegel nicht sehen kannst, kann er dich auch nicht sehen.

Inzwischen bieten einige Automarken gegen Aufpreis auch Totwinkel-Assistenten an. Hierbei werden im Auto Sensoren verbaut, die speziell den Bereich des toten Winkels überwachen. Schon länger kann man zudem spezielle Spiegel nachrüsten, die den Bereich des toten Winkels reduzieren.



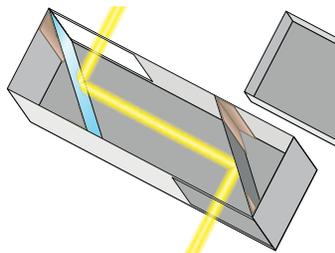
Arbeitsauftrag

- Stelle dich mit einigen Mitschülerinnen und Mitschülern um ein Auto herum auf. Einer ist der „Fahrer“ und bittet diejenigen, die er direkt oder im Spiegel sieht, wegzutreten. Die verbleibenden Schülerinnen und Schüler markieren den Bereich des toten Winkels. Dokumentiere deine Beobachtung anhand einer Skizze.
- Finde und beschreibe den physikalischen Grund für den toten Winkel und präge dir den Bereich gut ein.

M2 Um-die-Ecke-Schauen mit dem Periskop

U-Boote haben Periskope an Bord, um unter Wasser über die Lage oberhalb des Wasserspiegels informiert zu sein. Man kann mit ihnen auch um Ecken oder über Mauern schauen, ohne direkt gesehen zu werden. Das Kernstück besteht aus zwei Spiegeln im Innern des Periskops, die die einfallenden Lichtstrahlen umlenken.

Für den Bau benötigst du einen länglichen Karton mit Deckel (z. B. einen Schuhkarton), zwei kleine Spiegel (z. B. Fliesen), Schere und Heißkleber oder Klebeband.

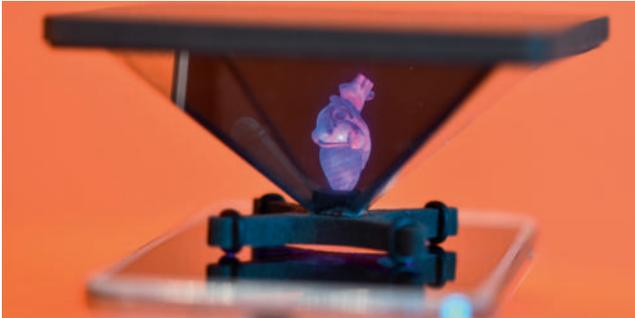


Arbeitsauftrag

- Baue dein eigenes Periskop. Achte besonders darauf, dass die beiden Spiegel parallel zueinander stehen. Zum Schluss wird der Deckel wieder aufgelegt, um Lichtreflexe zu vermeiden.
- Verfolge den Strahlengang vom beobachteten Gegenstand bis zum Beobachter. Nutze das Modell der Lichtausbreitung, um den Weg des Lichtstrahls in eine Skizze deines Periskops einzuzichnen.
- Versuche eine Regel zu finden, wie ein Lichtstrahl von einem Spiegel reflektiert wird.

Versuche und Materialien zu Kapitel 6.3

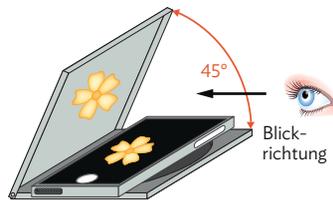
M3 Hologramme von eigenen Bildern



Hologramme, also „in der Luft schwebende“ Bilder kannst du mit einer CD-Hülle und deinem Handy selbst herstellen.

Entferne dazu das Booklet und fixiere den durchsichtigen Deckel mit ausreichend Tesafilm schräg, etwa 45° , über dem Boden. Stelle dein Handy auf volle Helligkeit ein und lege es auf

den CD-Boden, schon wirst du dein Handy-Display auf dem CD-Deckel sehen. Besonders eindrucksvoll erscheint das Hologramm, wenn du ein Bild oder ein Video mit dunklem Hintergrund wählst. Diese Bilder sind im physikalischen Sinne keine Hologramme, weil man darunter eigentlich in einem aufwendigen Verfahren hergestellte Bilder versteht, die man von beliebigen Blickwinkeln aus dreidimensional sehen kann (wie z. B. auf Geldscheinen).



Arbeitsauftrag

- Stelle, wie links beschrieben, dein eigenes Hologramm her.
- Beschreibe, wie du dein Handy platzieren musst, damit das Video normal zu sehen ist, und beobachte, ob hier oben/unten, links/rechts und vorne/hinten vertauscht sind. Finde eine physikalische Erklärung für deine Beobachtung.
- Mit etwas mehr Aufwand kannst du auch 3D-Hologramme herstellen. Hierzu benötigst du statt der CD-Hülle eine transparente Pyramide. Eine genaue Anleitung findest du z. B. hier:



MC 67048-13

M4 Auf die Blickrichtung kommt es an

Spiegel vertauschen je nach Lage des Spiegels und des Blickwinkels des Beobachters oben und unten, links und rechts oder vorne und hinten. Links siehst du die Altstadt von Landshut, die sich im Wasser spiegelt, rechts das Empire State Building, das sich im Fenster spiegelt.



Arbeitsauftrag

- Beschreibe, was die beiden Bilder jeweils vertauschen.
- „Auf die Blickrichtung kommt es an.“ Zeige, dass dieser Satz stimmt, indem du die gleiche Situation dreimal aus verschiedenen Blickwinkeln fotografierst, sodass oben-unten, links-rechts und vorne-hinten mithilfe eines Spiegels vertauscht werden.

V1 Reflexionen und Spiegelbilder

1. Die brennende Kerze im Wasserglas

Vielleicht hast du im ersten Moment tatsächlich gedacht, dass die Kerze auf dem Foto im Wasserglas brennt. Sicherlich hast du aber inzwischen erkannt, dass es sich dabei um eine optische Täuschung handelt.



2. Gezielte Untersuchung von Spiegelbildern

Den Begriff „spiegelverkehrt“ verwendet man, wenn etwas seitenverkehrt erscheint. Aber welche Seiten sind das genau? In diesem Versuch wirst du die Eigenschaften von Spiegelbildern bewusst betrachten.

Verwende zunächst einen Gegenstand und einen kleinen Spiegel für deine Beobachtungen. Verfolge dabei, was mit dem Spiegelbild passiert, wenn du den Gegenstand verschiebst oder wenn du deinen Blickwinkel änderst.

Nun betrachtest du dich selbst im Spiegel. Gehe langsam auf ihn zu. Wie groß erscheint dein Spiegelbild? Ändert sich seine Größe? Winke mit der rechten Hand. Was macht dein Spiegelbild?

3. Ein Experiment zum Reflexionsgesetz

Hier wird das Verhalten eines einzelnen Lichtstrahls einer Halogenlampe am Spiegel untersucht.



Benötigte Materialien:

- Spiegel mit Halterung
- Halogenlampe
- Korkplatte
- Stecknadeln
- Winkelskala

Leuchte wie dargestellt unter verschiedenen Winkeln mit der Lampe auf einen Spiegel (Einfallswinkel) und beobachte, unter welchem Winkel der Lichtstrahl reflektiert wird (Reflexionswinkel). Verwende Stecknadeln, um den Weg des Lichts zu markieren und zeichne dann den ganzen Lichtstrahl mit einem Lineal nach.

Um exakte Messergebnisse zu erhalten, musst du darauf achten, dass der Lichtstrahl den Spiegel genau auf dem Achsenkreuz trifft.

Arbeitsaufträge

1 | Führe den Versuch selbst durch. Überlege dir dabei, worauf man achten sollte, damit er besonders glaubwürdig wirkt. Erstelle anschließend eine aussagekräftige Skizze.

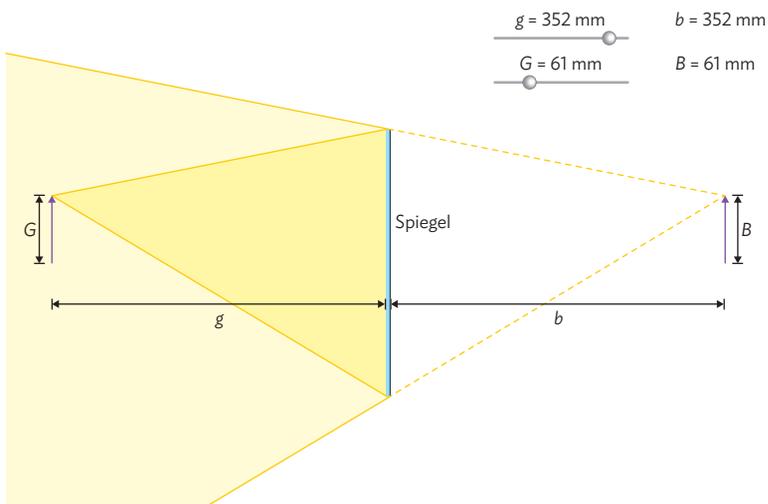
2 | Plane anhand der Fragen im Text eine Versuchsreihe, mit der du möglichst viele Eigenschaften von Spiegelbildern untersuchen kannst. Dokumentiere die Experimente und notiere dann in einer Tabelle, ob – und wenn ja, wie – sich Gegenstand und Spiegelbild unterscheiden.

3 | Führe den Versuch für verschiedene Winkel durch und formuliere als Ergebnis deines Versuchs ein Gesetz für die Reflexion einzelner Lichtstrahlen am Spiegel. Hinweis: Zeichne eine Tabelle mit zwei Zeilen: Zeile 1 für den Einfallswinkel und Zeile 2 für den Reflexionswinkel.

! Achte beim Umgang mit hellem Licht darauf, dieses niemals in Richtung Augen zu lenken. Auch Reflexionen können gefährlich sein!

4. Simulationen zur genaueren Untersuchung von Spiegelbildern

Im Internet findet man verschiedene Simulationen, mit denen man die Größe und die Lage des Gegenstandes vor dem Spiegel verändern kann. Ein Vorteil gegenüber dem realen Experiment ist, dass das auf den Spiegel auftreffende Lichtbündel und das reflektierte Lichtbündel dargestellt sind und man beobachten kann, wie es sich verändert, wenn man die Gegenstandsgröße oder die Entfernung des Gegenstandes vom Spiegel verändert.



Betrachten wir die Simulation genauer: auch das Reflexionsgesetz, das du schon auf der Vorseite untersucht hast, sieht man hier bei den Randstrahlen bestätigt. Die Pfeilspitze des Spiegelbildes B ergibt sich als Schnittpunkt der beiden reflektierten Randstrahlen hinter dem Spiegel. Wir sehen das Spiegelbild, weil reflektierte Lichtstrahlen in unser Auge gelangen. Solange ein Teil des reflektierten Lichtbündels in unser Auge trifft, können wir das Spiegelbild sehen.

5. Ein Spiegelkabinett



Benötigte Materialien:

- zwei Spiegelfliesen
- eine Kerze

Räume, die ringsum verspiegelt sind, wie hier der Aufzug, nennt man Spiegelkabinett. Es entstehen verblüffende Effekte: Man sieht sich selbst immer kleiner werdend und immer weiter entfernt.

Arbeitsaufträge

4 \ a) Teste anhand einer geeigneten Simulation deine bisherigen Beobachtungen bezüglich Größe und Entfernung des Spiegelbildes vom Spiegel.

Eine solche Simulation findest du z. B. hier:



MC 67048-14

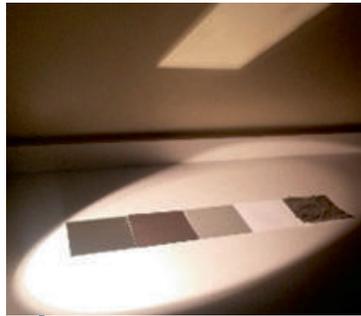
b) Schreibe eine Anleitung, wie man mit Bleistift und Lineal das Spiegelbild eines Gegenstandes konstruiert.

c) Konstruiere für mehrere Beobachter an verschiedenen Stellen das Spiegelbild, wenn sich Position und Größe des Gegenstandes nicht verändern.

d) Beurteile anhand deiner Konstruktion aus c), ob die Lage des Spiegelbildes von der Position des Beobachters abhängt.

5 \ Stelle zwei Spiegel so auf, dass sie mit den Spiegelseiten zueinander schauend parallel stehen und befestige sie. Stelle dann eine brennende Kerze dazwischen. Beobachte und beschreibe die Mehrfachspiegelungen.

Reflexion und Streuung

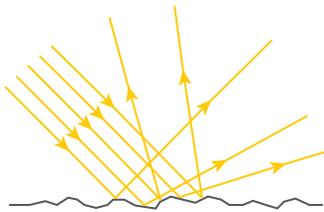


B1 Beleuchtung verschiedener Materialien (von links nach rechts): Spiegel, schwarzer, grauer und weißer Karton, Alufolie

Ein Experiment zeigt eindrucksvoll, wie unterschiedlich verschiedene Materialien aussehen, wenn sie im abgedunkelten Zimmer mit einer Lampe beleuchtet werden, vgl. B1. Als Materialien verwenden wir einen Spiegel, schwarzen, grauen und weißen Karton sowie eine zerknitterte Alufolie. Wie erwartet, erscheinen die Kartons schwarz, grau und weiß. Die zerknitterte Alufolie sieht man glitzern und den Spiegel selbst sieht

man im abgedunkelten Raum als schwarze Fläche. Wir wissen schon aus der siebten Klasse, dass die Kartons jeweils unterschiedliche Farbanteile des einfallenden Lichts in alle Richtungen streuen (vgl. B2) und somit als schwarz, grau oder weiß wahrgenommen werden.

Betrachten wir die Abbildung nun genauer, dann sehen wir an der Wand eine helle Fläche. Wenn du das Experiment selbst durchführst, kannst du ihre Lage verändern, indem du die Position der Lampe änderst. Der Spiegel streut das Licht also nicht in alle Richtungen, sondern er lenkt es in eine bestimmte Richtung um (vgl. B3 und M2). Er reflektiert das Licht.



B2 Weg des gestreuten Lichts.



B3 Weg des reflektierten Lichts.

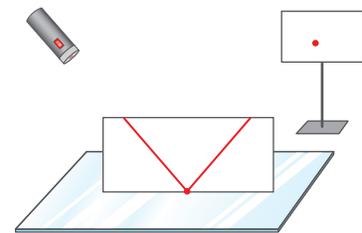
i Das Wort „reflektieren“ kommt von lat. *reflectere*: zurückbiegen.

Streuung: Licht wird ungeordnet in alle Richtungen abgelenkt.
Reflexion: Licht wird in eine bestimmte Richtung zurückgeworfen.

Auf der zerknitterten Alufolie findet eine Mischung aus Reflexion und Streuung statt: Nur diejenigen Flächenstücke glitzern, die Licht in Augenrichtung reflektieren. Drehen wir die Alufolie, funkelt sie an anderen Stellen.

Das Reflexionsgesetz

Um die Reflexion von einzelnen Lichtstrahlen am Spiegel untersuchen zu können, verwenden wir einen Laserpointer mit einem sehr schmalen Lichtstrahl. Wenn wir den Bildschirm an geeigneter Stelle aufstellen, können wir den am Spiegel reflektierten Lichtstrahl auf dem Bildschirm als roten Punkt sehen.

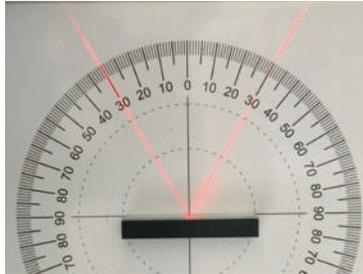


B4 Weg des am Spiegel reflektierten Lichts.

Um auch den Weg des Lichtstrahls verfolgen zu können, stellen wir nun einen zweiten Bildschirm oder einfach ein Stück feste Pappe so in den Lichtweg, dass der Lichtstrahl den Bildschirm streift (vgl. B4).

! Achtung! Blicke niemals direkt in einen Laserpointer!

Das gelingt leicht, weil einfallender und ausfallender Lichtstrahl in einer Ebene verlaufen. Dabei sehen wir auch, dass der reflektierte Lichtstrahl den Spiegel unter demselben Winkel wieder verlässt, unter dem der einfallende Lichtstrahl auf den Spiegel aufgetroffen war.



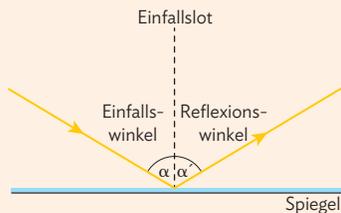
B5 Reflexion am Spiegel.

Nun wollen wir testen, ob diese Auffälligkeit auch für beliebige Winkel gilt und verwenden dazu eine optische Scheibe. An der Scheibe sind bereits ein Spiegel und eine Winkelskala angebracht sowie eine Lampe, die ein schmales Lichtbündel erzeugt, das man gut als Lichtstrahl auffassen kann. Man sieht: Der

Winkel wird stets zwischen dem Lichtstrahl und dem Lot vom Auftreffpunkt des Lichtstrahls auf den Spiegel gemessen. Wir nennen die beiden Winkel Einfallswinkel α und Reflexionswinkel α' . Tatsächlich ist der Reflexionswinkel α' immer genauso groß wie der Einfallswinkel α .

Wir fassen unsere Beobachtungen im Reflexionsgesetz zusammen:

Einfallender Lichtstrahl, reflektierter Lichtstrahl und Lot liegen in einer Ebene.
 Einfallswinkel α und Reflexionswinkel α' sind immer gleich groß:
 $\alpha = \alpha'$.



Arbeitsaufträge

1 \ Erkläre mithilfe einer Zeichnung ähnlich wie B2 und B3, warum zerknitterte Alufolie glitzert.

2 \ Wenn man eine besonders „weiche“, gleichmäßige Beleuchtung im Zimmer haben will, verwendet man gerne Deckenfluter. Erläutere, wieso sie diese Art der Beleuchtung liefern.

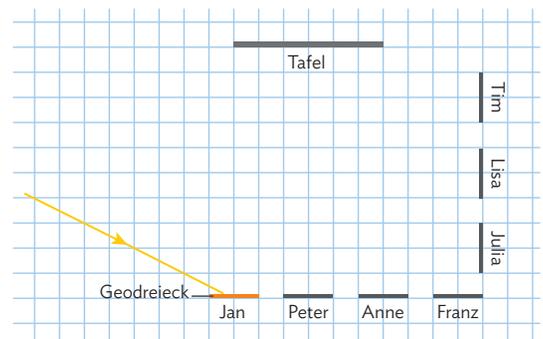


3 \ Zähle mindestens fünf Arten auf, wie man Spiegelbilder erzeugen kann oder wo sie entstehen. Begründe, welche Eigenschaft der jeweiligen Materialien die Spiegelung bewirkt.

4 \ Jan ist aufgefallen, dass die Sonne durch einen Spalt im Vorhang auf sein Geodreieck fällt, sodass er sei-

↳ weitere passende Aufgaben: S. 76, Nr. 2, 3, 5, 7; S. 78, Nr. 22

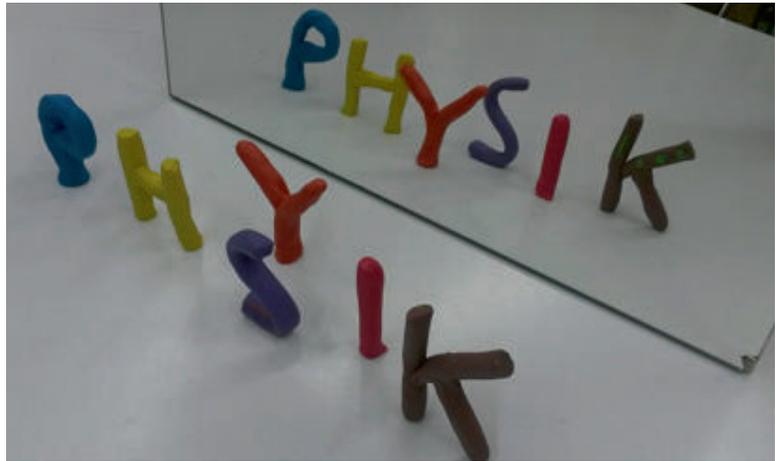
ne Mitschülerinnen und Mitschüler blenden kann.



a) Übertrage die Skizze in dein Heft und finde heraus, ob Jan Lisa oder Julia blendet.

b) Probiere aus, wie Jan sein Geodreieck drehen muss, damit er Tim ein Signal geben kann. Zeichne dann den neuen Strahlenverlauf ein.

Eigenschaften von Spiegelbildern



B1 Knetbuchstaben und ihr Spiegelbild.

In Abbildung B1 kann man einige Eigenschaften von Spiegelbildern gut erkennen: Die Größe von Gegenstand und Spiegelbild stimmen überein und auch oben und unten sowie links und rechts sind nicht vertauscht, denn man kann ja das Wort **PHYSIK** auch im Spiegelbild lesen. Ein Unterschied fällt aber auf: der Spiegel vertauscht vorne und hinten.

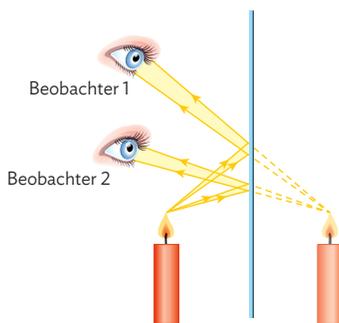
Das Spiegelbild ist nicht auf der Spiegeloberfläche zu sehen. Vielmehr befindet es sich gerade so weit hinter dem Spiegel, wie sich der Gegenstand davor befindet. Das sieht man besonders gut mit angelegtem Lineal wie in B2. Man bemerkt dann auch, dass eine gedachte Verbindungslinie von Gegenstand und Spiegelbild senkrecht auf dem Spiegel steht.

Bei einem liegenden Spiegel, wie beispielsweise einer Wasseroberfläche, gelten analoge Gesetzmäßigkeiten (vgl. M4, S. 51 unten).



B2 Detailaufnahme mit dem Lineal.

Das Spiegelbild ist genauso groß wie der Gegenstand selbst. Je nach Blickwinkel sind oben und unten, links und rechts oder vorne und hinten vertauscht. Das Spiegelbild befindet sich genau so weit „hinter“ dem Spiegel wie der Gegenstand vor dem Spiegel steht.



B3 Zwei Beobachter am Spiegel.

In B3 sehen wir den Strahlengang des Lichts einer Kerze, das auf einen Spiegel trifft. Dort werden die Strahlen reflektiert und gelangen in das Auge der Beobachter. Unser Gehirn interpretiert die ins Auge fallenden Lichtstrahlen und geht aufgrund seiner Erfahrung von einer geradlinigen Lichtausbreitung aus. Deshalb deutet es die Lichtstrahlen so, als ob sie von einem Punkt hinter dem Spiegel ausgehen würden, an dem sich die reflektierten Lichtstrahlen schneiden würden.

Tatsächlich sind aber hinter dem Spiegel keine Lichtstrahlen zu finden und auch das Spiegelbild ist nur scheinbar dort. Es könnte an dieser Stelle nicht auf einem Bildschirm aufgefangen werden. Wir sprechen in solchen Fällen von virtuellen Bildern.

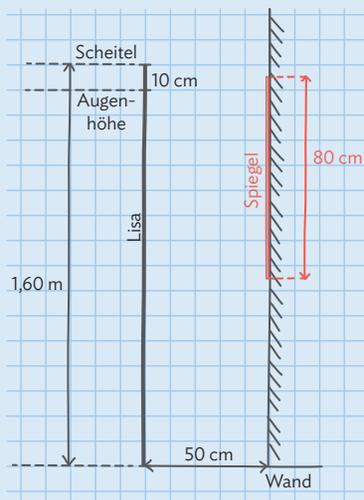
i Das Wort „virtuell“ kommt von franz. *virtuel*: scheinbar.

Konstruktionen rund um Spiegelbilder

Mithilfe unserer geometrischen Kenntnisse zur Konstruktion von Spiegelbildern und dem Reflexionsgesetz können wir nun verschiedene Fragen zu Spiegelbildern beantworten und Spiegelbilder konstruieren.

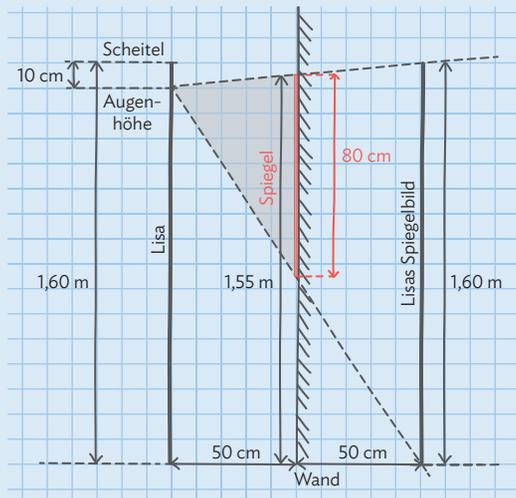
Musteraufgabe

Lisa hat einen neuen Spiegel in ihrem Zimmer aufgehängt. Sie ist 1,60 m groß, ihre Augen liegen 10 cm unter der Scheitelhöhe und sie will sich im Abstand von 50 cm vor dem Spiegel sehen. Der Spiegel ist 80 cm hoch und die Oberkante des Spiegels befindet sich 1,55 m über dem Boden. Untersuche mithilfe einer Spiegelbild-Konstruktion, ob Lisa sich tatsächlich komplett im Spiegel sehen kann.



Lösung

1. Zeichne eine maßstabsgetreue Skizze mit Lisa, dem Spiegel und ihrem Spiegelbild, das sich im gleichen Abstand hinter der Wand befindet wie Lisa davorsteht.
2. Wenn Lisa sich komplett im Spiegel sehen kann, sieht sie sich vom Scheitel bis zu den Füßen. Zeichne daher einen Lichtstrahl von Lisas Augen zum Scheitel des Spiegelbilds und einen zu dessen Füßen. Kennzeichne den Bereich, in dem der Lichtstrahl nicht wirklich existiert, mit gestrichelten Linien.
3. Diese beiden Lichtstrahlen und alle dazwischen müssen von dem Spiegel reflektiert werden, damit Lisa sich vollständig sehen kann. Man sieht hier, dass die beiden Randstrahlen gerade noch auf den Spiegel treffen, sie kann sich also komplett sehen.



Arbeitsaufträge

- 1 | Der Spiegel in der Musteraufgabe ist speziell für Lisas Zimmer angepasst.
 - a) Führe die Musteraufgabe nun auch für ein 1,0 m kleines Kind und einen 1,90 m großen Mann durch. Bestimme jeweils durch eine Zeichnung, wie groß der Spiegel sein muss und auf welcher Höhe er hängen muss, um das vollständige Spiegelbild zu sehen.
 - b) Stelle eine allgemeine Regel für Spiegelgröße und Spiegelhöhe auf.

- 2 | Wir haben beobachtet, dass das Spiegelbild genauso groß ist, wie der Gegenstand selbst. Doch auf diesem Foto sieht das Spiegelbild deutlich kleiner aus.

Erkläre, wie sich dieser scheinbare Widerspruch auflösen lässt.



↳ weitere passende Aufgaben: S. 76, Nr. 1, 6, 8



7

Brechung

Versuche und Materialien zu Kapitel 7.1

M1 Der Salpa Maggiore – Lichtbrechung als Tarnung

Der Fischer Stewart Fraser fand beim Angeln an der Küste Neuseelands einen durchsichtigen Fisch, der auf der Meeresoberfläche trieb. Der Fisch heißt Salpa Maggiore und gehört zur Gattung der Salpen.



Durch die Transparenz hat der Fisch einen Schutz gegen Feinde entwickelt, da er deutlich schwerer zu erkennen ist als beispielsweise ein bunt schillernder Fisch.

Das Foto zeigt, wie der Fisch über der Wasseroberfläche aussieht. Aber wie sieht dieser Fisch unter Wasser aus? In den Naturwissenschaften versucht man, mit Experimenten die Natur möglichst genau nachzuempfinden. So kann man die Situation „Salpa unter Wasser“ z. B. mithilfe einer transparenten, mit Wasser gefüllten Plastiktüte in einer mit Wasser gefüllten Glaswanne (z. B. ein Aquarium) nachstellen.

Arbeitsauftrag

- Stelle zunächst eine Vermutung **v** auf, wie der Fisch unter Wasser aussieht. Teste sie dann, indem du das beschriebene Experiment mit der Plastiktüte durchführst.
- Fertige eine Versuchsbeschreibung an. Gehe dabei auch auf folgende Gesichtspunkte ein:
 - Schwierigkeiten bei der Durchführung
 - Beobachtungen bei der Durchführung
 - Erklärung deiner Beobachtungen
- Beantworte nun die Frage, wie der Salpa Maggiore unter Wasser aussieht. Begründe deine Antwort.

M2 Um-die-Ecke-Schauen mit dem Periskop

Mithilfe des optischen Phänomens der Brechung kannst du eine zunächst „unsichtbare“ Münze sichtbar machen und ein Stück im Wasser „anheben“.



Benötigte Materialien:

- Tasse
- Münze
- Gefäß mit Wasser

Vorgehen

- Lege die Münze auf den Boden der Tasse.
- Stelle die Tasse so vor dir auf den Tisch, dass du die Münze gerade nicht mehr siehst. Bleibe nun in dieser Position.
- Fülle Wasser in die Tasse und du wirst die Münze sehen. Dabei erscheint dir die Münze etwas angehoben vom Boden zu sein.

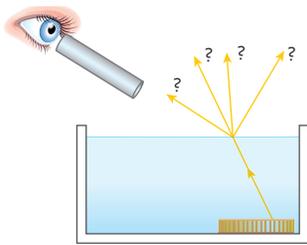
Arbeitsauftrag

- Führe den Zaubertrick wie **v** beschrieben durch.
- Diesen Zaubertrick findet man auf vielen Internetseiten. Versuche eine Erklärung zu finden, die du nachvollziehen kannst.
- Fertige nun eine komplette Versuchsbeschreibung mit Aufbau, Durchführung und Erklärung an.

M3 Die Münze unter Wasser – genauer untersucht

In M2 hast du gesehen, wie die zunächst nicht sichtbare Münze in der Tasse sichtbar wird, wenn die Tasse mit Wasser gefüllt ist. Im Internet findest du viele Seiten mit Erklärungen dafür. Aber wie weißt du, ob die Erklärung richtig ist? Dazu solltest du die Deutung selbst durch ein Experiment überprüfen.

Vorgehen



1. Lege die Münze in das Wasser und peile sie durch das Röhrrchen an. In dieser Position muss das Röhrrchen nun bleiben!
2. Stecke eine Stricknadel durch das Röhrrchen und beobachte von der Seite, wo sie auf dem Wannensboden auftrifft.
3. Leuchte mit dem Laserpointer durch das Röhrrchen oder lasse dir das Experiment von deinem Lehrer vorführen.
4. Schütte einige Tropfen Milch in das Wasser, um auch den Weg des Laserstrahls sehen zu können.

Benötigte Materialien:

- Mit Wasser gefüllte Glaswanne
- Münze
- Hohles Röhrrchen (z. B. dicker Strohhalm)
- Stricknadel
- Laserpointer
- Ein paar Tropfen Milch

Arbeitsauftrag

- a) Führe das Experiment durch und beschreibe deine Beobachtungen genau. Denke auch daran, zu notieren, ob die Münze durch die Stricknadel und den Laserstrahl jeweils getroffen wird.
- b) Im letzten Teil des Experiments kannst du den Weg des Laserstrahls verfolgen. Zeichne den Weg des Lichts auf und formuliere eine Regel für dieses Phänomen, das man Lichtbrechung nennt.
- c) Kontrolliere nun abschließend deine Erklärung für M2 noch einmal und verbessere oder ergänze sie, falls es nötig sein sollte.

! Achte beim Umgang mit Laserlicht darauf, es niemals in Richtung Augen zu lenken. Auch Reflexionen können gefährlich sein!

M4 Brechung in verschiedenen Flüssigkeiten



Benötigte Materialien:

- Glasgefäß
- Öl
- Wasser
- Lebensmittelfarbe
- Gegenstand

An jeder Grenzschicht von optisch verschiedenen dichten Medien kommt es zur Brechung. Diese Eigenschaft kann man sich für besondere, „gebrochene“ Effekte zunutze machen. Im abgebildeten Foto sind die drei Schichten Luft, Öl und blau eingefärbtes Wasser. Verwendest du ein dickes Glasgefäß, dann hast du hier bei geeignetem Blickwinkel noch zusätzliche Brechungseffekte.

Arbeitsauftrag

- a) Fülle das Gefäß zunächst mit Wasser. Für besondere Farbeffekte kannst du es mit Lebensmittelfarbe einfärben. Gieße dann vorsichtig das Öl auf die Wasserschicht und stelle den Gegenstand hinein. Suche dir besonders reizvolle Blickwinkel und fotografiere den Gegenstand aus verschiedenen Perspektiven. Formuliere eine Erklärung für deine Beobachtungen.



B2 Der senkrecht im Wasserglas stehende, ungeknickte Löffel.



B1 Ein schräg ins Wasserglas gestellter Löffel.

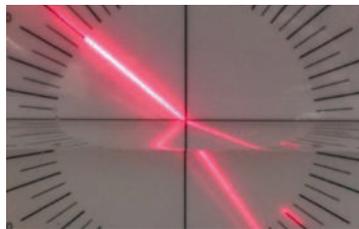
Reflexion und Brechung

Der lange Löffel, der in B1 am Glasrand lehnt, scheint gleich mehrfach geknickt zu sein. Stellt man ihn aber wie in B2 senkrecht ins Glas, so sieht er ganz normal gerade aus. Den einen Knick können wir uns schon erklären: Der Löffel spiegelt sich an der Wasseroberfläche. Dies ist das kleine geknickte Teilstück. Wie aber entsteht der zweite Knick – an der Grenze zwischen Wasser und Luft? Um diese Frage zu beantworten, überlegen wir uns noch einmal genau, warum wir den Löffel überhaupt sehen. Wir erkennen ihn, weil Licht vom Löffel aus in unser Auge gelangt. Das Licht muss dazu das Wasser, die Wasser-Luft-Grenze und die Luft durchqueren. Die Durchquerung verschiedener Schichten sorgt für den Knick, vgl. M2 bis M4.

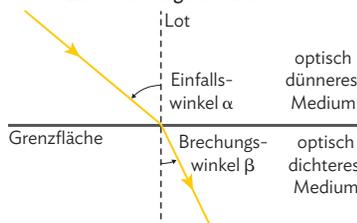
Der Knick entsteht durch die Brechung des Lichts an der Grenzfläche zwischen Wasser und Luft.

Lichtbrechung

Trifft Licht schräg auf die Grenzfläche zweier verschiedener, lichtdurchlässiger Materialien, so ändert es seine Richtung. Dieses Phänomen nennt man Brechung des Lichts.



B3 Der Lichtstrahl wird an der Grenze Luft-Wasser gebrochen.



B4 Fachbegriffe der Lichtbrechung.

Wir lassen ein schmales Lichtbündel auf eine Wasseroberfläche fallen. Variieren wir nun den Einfallswinkel α , dann ist für schräg einfallendes Licht der Brechungswinkel β stets kleiner als der Einfallswinkel α . Nur wenn das Licht senkrecht auf die Wasseroberfläche trifft, behält es seine Richtung bei. Brechung beobachtet man nicht nur bei Wasser, sondern immer an der Grenzschicht zweier lichtdurchlässiger Materialien.

Ist der Brechungswinkel β wie in B3 kleiner als der Einfallswinkel α , dann heißt Material 2 optisch dichter als Material 1. Material 1 ist dann das optisch dünnere Medium (vgl. B4).

Das Licht wird beim Übergang ins optisch dichtere Medium zum Lot hin gebrochen.

Das Licht wird beim Übergang ins optisch dichtere Medium zum Lot hin gebrochen.

i Einfallswinkel und Brechungswinkel misst man vom Lot aus.



B5 | Lichtquelle unter Wasser: Brechung und Reflexion

Welches das optisch dichtere Medium ist, hängt immer von der Kombination der beiden Materialien ab. So ist zum Beispiel bei der Kombination Luft – Wasser das Wasser optisch dichter, bei der Kombination Wasser – Glas aber das Glas das optisch dichtere Medium.

Wir verfolgen nun in B5 den Strahlengang beim Übergang vom optisch dichteren in das optisch dünnere Medium. Wie zu erwarten war, wird hier das Licht vom Lot weg gebrochen (Strahlen 1 – 3). Dies trifft für diese drei Strahlen aber nur auf einen Teil des Lichts zu; der andere Teil wird an der Wasseroberfläche reflektiert. Ab einem bestimmten Grenzwinkel beobachtet man nur noch eine Reflexion (Strahl 4). Das nennt man auch Totalreflexion, wie du noch lernen wirst.

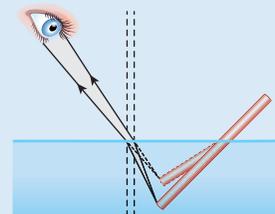
Das Licht wird beim Übergang ins optisch dünnere Medium vom Lot weg gebrochen, vorausgesetzt der Einfallswinkel ist nicht zu groß.

Musteraufgabe

Begründe mithilfe einer Zeichnung genau, wieso ein in Wasser eingetauchter Stab geknickt aussieht. Achte besonders auf den Weg der Lichtstrahlen, wenn du zeichnest.

Lösung

Die Lichtstrahlen werden an der Wasseroberfläche gebrochen. Unser Gehirn interpretiert die Strahlen dann so, als ob sie sich geradlinig ausbreiten würden. Eigentlich ist aber der Weg des Lichts abgelenkt und der Stab gerade. Beim Zeichnen tragen wir den Lichtstrahl vom Stabende bis zur Wasseroberfläche ein, ergänzen hier das Lot zur Oberfläche und zeichnen dann den Lichtstrahl in der Luft vom Lot weg geknickt ein.



Arbeitsaufträge

- 1 | Die beiden Bilder zeigen ein Ölfäschchen. Man entnimmt das Öl mit einer Pipette.



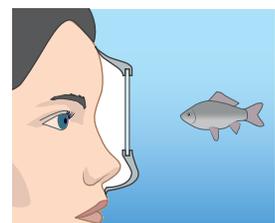
Beschreibe anhand der Fotos, was passiert, wenn du den Gummi zusammendrückst, damit das Öl in das

Röhrchen gesaugt wird. Erkläre deine Beobachtung.

↳ weitere passende Aufgaben: S. 76, Nr. 4, 9; S. 77, Nr. 10, 11

- 2 | Mit Taucherbrillen können Taucher zwar unter Wasser besser sehen, schätzen dafür aber Entfernungen generell zu kurz ein. Begründe mithilfe des Bildes genau, was die Ursache dieser Fehleinschätzung ist.

Diskutiere mit deinem Sitznachbarn oder deiner Nachbarin, wieso der Taucher ohne Brille seine Umgebung nur verschwommen sehen würde.





8 Linsen

Versuche und Materialien zu Kapitel 8.2

M1 Verschiedene Arten von Linsen

Linsen werden eingesetzt, um Licht zu bündeln oder ein vergrößertes oder verkleinertes Bild eines Gegenstands zu erzeugen. Du wirst in diesem Experiment versuchen, Licht mithilfe verschiedener Linsen möglichst stark zu bündeln.

Suche dir einen Platz mit einer Lampe, sodass der Tisch möglichst gerade von oben beleuchtet wird.



Lege ein Blatt Papier auf den Tisch und halte die Linse parallel dazu. Ändere die Entfernung der Linse zum Papier so lange, bis der Lichtfleck auf dem Papier möglichst klein ist. Dieser kleinste Lichtfleck, den du herstellen kannst,

heißt Brennpunkt F . Den Abstand vom Brennpunkt F zur Mitte der Linse nennt man die Brennweite f der Linse. Die Brennweite ist die wichtigste Eigenschaft jeder Linse.

Arbeitsauftrag

- Führe das Experiment mit verschiedenen Linsen durch. Teile die Linsen danach in zwei Gruppen auf: in diejenigen Linsen, mit denen du einen Brennpunkt erzeugen konntest und in diejenigen Linsen, bei denen das nicht möglich war. Vergleiche die Form der beiden Linsentypen und beschreibe die festgestellten Unterschiede möglichst treffend.
- Miss bei allen Linsen, bei denen du einen Brennpunkt erzeugen konntest, die Brennweite f mit einem Lineal.
- Stelle eine Vermutung auf, welche Form eine Linse mit möglichst kleiner Brennweite f hat. Begründe mithilfe des Brechungsgesetzes und einer aussagekräftigen Zeichnung.

M2 Gefahren durch gebündeltes Licht und Laserpointer

! Halte unbedingt etwas Wasser bereit, um ein eventuelles Feuer schnell löschen zu können! Blicke niemals mit der Linse in die Sonne!

Im Brennpunkt wird das komplette Licht, das auf eine Linse fällt, gebündelt. Deshalb wird es hier sehr heiß.

Wenn die Sonne richtig hell scheint oder deine Lampe sehr lichtintensiv ist, kannst du ein Papier oder ein Streichholz, das du mit dem Kopf in den Brennpunkt hältst, vielleicht sogar zum Rauchen bringen.

Auch ein Laserpointer erzeugt einen sehr stark gebündelten Lichtstrahl. Deshalb ist es sehr gefährlich, wenn dieser in das Auge gelangt.

Arbeitsauftrag

- Führe den Versuch zum Brennpunkt mit verschiedenen Sammellinsen durch und beschreibe, wie das Experiment am besten gelingt.
- Beantworte die Frage: „Sind Laserpointer wirklich gefährlich für das Auge oder ist das nur Panikmache?“. Ergänze deine Antwort um Regeln zum verantwortungsbewussten Umgang mit Laserpointern.

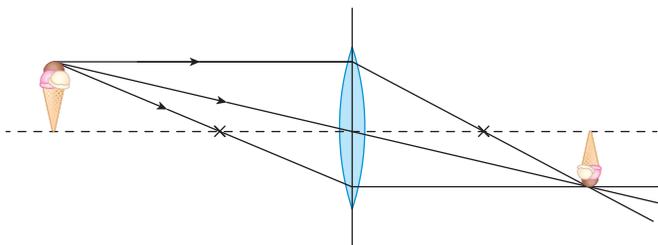
Versuche und Materialien zu Kapitel 8.3

M3 Untersuchung der Sammellinsen-Bilder mit einer Simulationssoftware

Um ein erstes Gespür dafür zu bekommen, welche Bilder durch Sammellinsen entstehen können, verwenden wir eine Simulationssoftware. Diese hat den Vorteil, dass du den Weg einzelner Lichtstrahlen gut verfolgen und beliebig viel ausprobieren kannst, ohne jeweils das komplette Experiment umzubauen. Eine solche Software findest du z. B. hier:



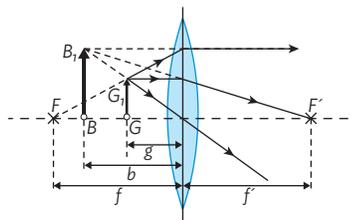
MC 67048-15



Wie wurde die Software erstellt und welche physikalischen Gesetze hat sie verwendet? Um diese Frage zu beantworten, konzentrieren wir uns nun auf die Hauptstrahlen und beobachten den Weg dieser besonderen Strahlen. Egal wo der Gegenstand steht und welche Brennweite und welchen Durchmesser die Linse hat, verhalten sich diese Hauptstrahlen immer gleich.

Ist die Option für „virtuelle Bilder“ aktiviert, dann siehst du bei passendem Abstand des Gegenstands von der Linse ein ziemlich großes Bild des Gegenstands, das nun nicht mehr auf dem Kopf steht. Diese Eigenschaft von Sammellinsen nutzen wir immer, wenn wir sie als Lupe verwenden.

Mit der Abbildung rechts wird in einem Lehrbuch erklärt, wie man bei einer dünnen Sammellinse das virtuelle Bild konstruiert. F und F' sind die beiden Brennpunkte links und rechts von der Linse, G der Gegenstand, B das virtuelle Bild, usw. Du musst dir vorstellen, dass du von rechts durch die Linse blickst. So ähnlich sollte es mit deiner Software aussehen.



Arbeitsauftrag

- Mach dich mit der Software vertraut. Probiere dazu zunächst erst einmal aus, was du alles verschieben und einstellen kannst.
- Gehe nun gezielter vor und beschreibe jeweils deine Beobachtung zu den folgenden Fragen:
 - Wie ändert sich das Bild, wenn du den Gegenstand verschiebst?
 - Kannst du den Gegenstand so verschieben, dass auch das Bild wieder aufrecht und nicht mehr auf dem Kopf steht?
 - Welchen Einfluss hat es auf das Bild, wenn du den Krümmungsradius der Linse, also ihre Brennweite, veränderst?
- Die Software verwendet drei verschiedene Hauptstrahlen. Beschreibe ihre Lage vor der Linse und auf welchen Wegen sie durch die Linse abgelenkt werden.
- Fertige zu den unterschiedlichen Fällen aus c) Skizzen an.
- Probiere aus, wie du in der Software virtuelle Bilder erzeugen kannst und beschreibe, wo du den Gegenstand platzieren musst, damit sie erscheinen. Notiere auch, in welchem Abstand von der Linse sie zu sehen sind.

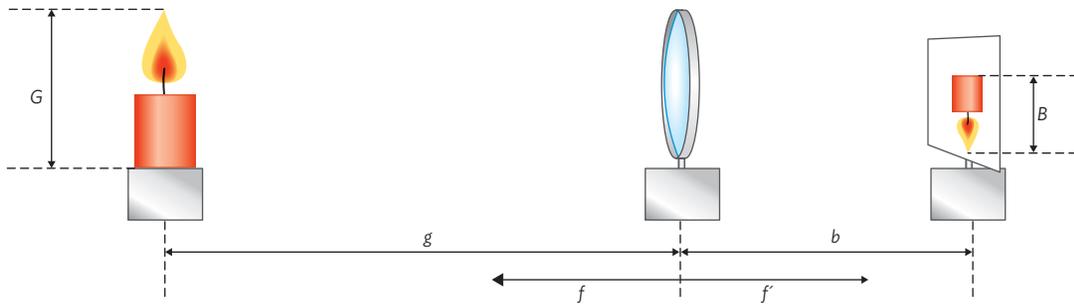
V1 Sammellinsen erzeugen Bilder

Du wirst nun mit einer Sammellinse verschieden große Bilder einer brennenden Kerze scharf auf einer Mattscheibe abbilden. Dabei wirst du einen Eindruck davon bekommen, wie der Abstand der Linse vom Gegenstand mit der Bildgröße und dem Abstand der Linse von der Mattscheibe zusammenhängt. Abschließendes Ziel des Versuchs ist es, dass du selbst eine Regel formulierst, wie diese Größen zusammenhängen. Man nennt diese Regel auch die Bewegungsregel für Sammellinsen.

Dafür verwendet man die folgenden Begriffe:

- Größe des Gegenstands: Gegenstandsgröße G
- Größe des Bildes: Bildgröße B
- Abstand des Gegenstands von der Linse: Gegenstandsweite g
- Abstand des Bildes von der Linse: Bildweite b
- Abstand des Brennpunkts F von der Linse: Brennweite f

Hier findest du noch einmal alle Größen in der Abbildung dargestellt:



Benötigte Materialien:

- Zwei Sammellinsen mit unterschiedlichen Brennweiten
- eine Kerze
- eine Mattscheibe
- ein Lineal

Vorgehen

1. Bestimme die Brennweite f der Linse wie in M1 auf S. 62 beschrieben und notiere sie dir. Du brauchst sie später zum Vergleich mit den gemessenen Abständen. Hinweise: Verwende einen relativ großen Abstand der Kerze von der Linse. Es gilt: $f = f'$.
2. Stelle die brennende Kerze in großer Entfernung (deutlich mehr als die doppelte Brennweite) vor der Linse auf und verschiebe den Bildschirm so lange, bis du ein scharfes Bild der Kerze auf der Mattscheibe erhältst.
3. Rücke nun die Kerze Schritt für Schritt näher an die Linse heran und passe den Abstand der Mattscheibe stets so an, dass das Bild der Kerze wieder scharf erscheint. Miss dabei immer für das scharfe Bild die Gegenstandsweite g , die Bildweite b und die Bildgröße B und notiere die Werte in einer Tabelle.

Beispiel:

Brennweite f (cm)	Gegenstandsweite g (cm)	Bildweite b (cm)	Bildgröße B (cm)
28	39
...

Arbeitsauftrag

- a) Führe das Experiment durch. Miss und notiere in Schritt 2 und 3 für das scharfe Bild die Gegenstandsweite g , die Bildweite b und die Bildgröße B . Erstelle dazu die Tabelle mit deinen gemessenen Werten. Schreibe auch die Grenze für g auf, ab der kein scharfes Bild mehr auf der Mattscheibe erscheint.

Auswertung

Entnimm deinen Messwerten, für welche Gegenstandsweiten die Bildgröße größer / kleiner / gleich der Gegenstandsgröße ist und wie sich dabei die Bildweite verändert.

Ergänze deine Tabelle nun durch allgemein gehaltene Ungleichungen, indem du die gefundenen Werte mit der Brennweite f der Linse vergleichst.

Beispiel:

Situation	Gegenstandsweite g	Bildweite b
$B < G$	g viel größer als f	b viel ...
$B = G$
$B > G$
kein Bild

Um zu testen, ob deine Auswertung wirklich allgemein für Sammellinsen gilt, solltest du sie zumindest mit einer zweiten, besser noch mit mehreren Linsen überprüfen.

- Werte dein Experiment mit Hilfe der nebenstehenden Anleitung aus.
- Kontrolliere deine Ergebnisse, indem du sie mit einer weiteren Linse testest.
- Stelle eine allgemein gehaltene Regel über Art, Größe und Lage des Bildes in Abhängigkeit von der Gegenstandsweite g auf. Beschreibe, wie sich mit der Gegenstandsweite g auch die Bildweite b ändert.

M2 Reelle und virtuelle Bilder

In den bisherigen Versuchen haben wir die Lichtflecke und Bilder beobachtet, die durch Linsen auf einer Unterlage oder auf einer Mattscheibe erzeugt wurden. Jetzt werden wir direkt durch die Linse schauen, so, wie wir es normalerweise tun, wenn wir Sammellinsen als Lupen verwenden.

Auf den beiden Bildern sind zwei verschiedene Situationen mit derselben Sammellinse dargestellt: links siehst du durch die Linse ein auf dem Kopf stehendes Bild eines Männchens, rechts ist es aufrechtstehend.



⚠ Verwende keine zu helle Lichtquelle! Achte darauf, dass du beim Blick durch die Linse weiter von der Linse entfernt bist als ihr Brennpunkt!

Benötigte Materialien:

- Eine Sammellinse
- eine Kerze
- eine Mattscheibe
- ein Lineal

Arbeitsauftrag

- Stelle die links dargestellten Situationen nach. Bestimme die Brennweite f der Linse und miss für beide Bilder die Gegenstandsweite g .
- Überlege, ob die beiden Bilder jeweils reell oder virtuell sind. Teste deine Vermutung experimentell mit dem Bildschirm.
- Ergänze die Bewegungsregel, die du im ersten Versuch in Aufgabe d) formuliert hast, nun noch um den Bereich der virtuellen Bilder.

8.2 Abbildung durch Sammellinsen



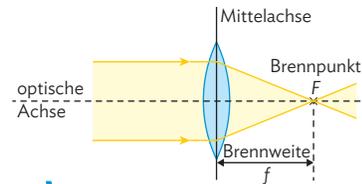
B1 Linse im Objektiv einer Kamera.

Lichtbrechung an einer Sammellinse

Ganz allgemein kann man Linsen als gewölbt geformte, durchsichtige Körper aus Materialien wie Glas oder Kunststoff beschreiben. In diesem Kapitel beobachten wir die Brechung des Lichts an einer Sammellinse und die unterschiedlichen Bilder, die dabei entstehen können. Die Eigenschaften und auch die Gefahren von Sammellinsen hast du bereits auf den Seiten 62–65 kennengelernt.

Linsen, die in der Mitte dicker sind als am Rand, heißen Sammellinsen.

Fällt ein Lichtbündel, das von parallelen Lichtstrahlen begrenzt wird, senkrecht zur Mittelachse auf eine Sammellinse, dann lenkt die Linse das Licht in eine bestimmte Richtung um. Dabei verlaufen alle Lichtstrahlen hinter



B2 Brennpunkt und Brennweite einer Sammellinse.

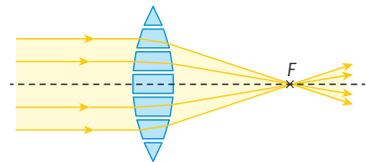
der Linse durch einen gemeinsamen Schnittpunkt auf der optischen Achse. Dieser Punkt ist der Brennpunkt F . Den Abstand zwischen Brennpunkt und Mittelachse nennt man die Brennweite f . Sie wird in der Regel in Millimetern angegeben.

i Brennpunkt heißt auf lateinisch *focus*.

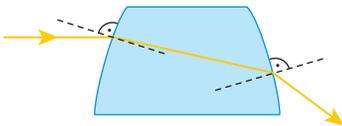
i Die optische Achse verläuft immer senkrecht zur Mittelachse durch den Mittelpunkt der Linse.

Physikalische Erklärung

Das Licht wird bei einer Sammellinse zum Brennpunkt hin gebrochen, weil das Material der Sammellinse optisch dichter ist als Luft. Durch die Form der Linse werden die Lichtstrahlen dann im Brennpunkt gebündelt. Der tatsächliche Strahlengang an einer Sammellinse lässt sich mithilfe der Lichtbrechung erklären: Wir zerlegen dazu in Gedanken die Linse in einzelne Glasstücke (vgl. B3). Genau betrachtet, wird das Licht an beiden Grenzflächen jeweils gebrochen und somit abgelenkt (vgl. B4). In unseren Zeichnungen vereinfachen wir dies meist durch eine einzige Brechung an der Mittelachse. Diese Näherung liefert gute Ergebnisse, wenn die Linse dünn ist.



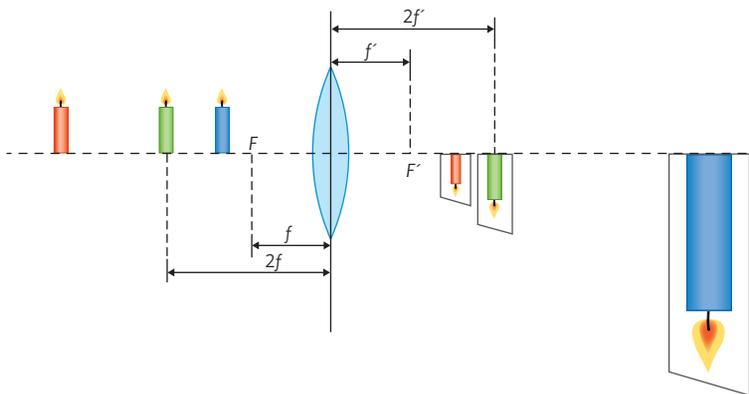
B3 Lichtbrechung an den Grenzflächen der Linse.



B4 Die Brechung des Lichts an beiden Grenzflächen im Detail.

Sammellinsen erzeugen reelle und virtuelle Bilder

Im Schülerversuch V1 in Kapitel 8.1 wird eine Kerze zunächst weit von der Linse weg platziert und der Bildschirm dann so aufgestellt, dass er ein scharfes Bild der Kerze zeigt. Alle Bilder, die mit einem Bildschirm aufgefangen werden können, nennt man reelle Bilder. Diese reellen Bilder von Sammellinsen stehen immer auf dem Kopf.



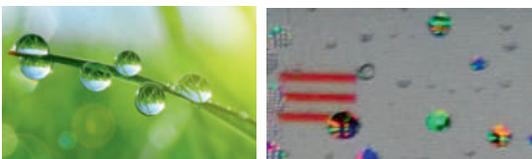
B5 Die Größe des Bildes ist vom Abstand der Kerze zur Sammellinse abhängig.

Rückt man die Kerze nun schrittweise näher an die Linse heran, dann entsteht das scharfe reelle Bild in immer größerem Abstand hinter der Linse. Das Bild wird dabei größer (vgl. B5). Wenn die Gegenstandsweite gerade der doppelten Brennweite entspricht, sind Bild und Gegenstand gleich groß. Rückt die Kerze noch näher an die Linse, dann erscheint das Bild vergrößert. Befindet sich die Kerze schließlich im Abstand der Brennweite oder noch näher bei der Linse, dann kann man auf dem Bildschirm kein scharfes Bild mehr erzeugen. Wenn man aber von rechts durch die Linse schaut, sieht man ein aufrechtstehendes, vergrößertes Bild, ein sogenanntes virtuelles Bild. In diesem Abstandsbereich nutzt man die Linse als Lupe (vgl. M3).

Die Brennpunkte F und F' einer dünnen Sammellinse liegen symmetrisch auf beiden Seiten der Linse im Abstand der Brennweite f (vgl. B5). Da der Lichtweg umkehrbar ist, kann man F und F' auch vertauschen und daher ist eine Unterscheidung zwischen F und F' nicht notwendig.

Arbeitsaufträge

- 1 Die beiden Bilder stellen einen Wassertropfen dar, der an einem Ast hängt, und ein Handydisplay, auf dem sich Regentropfen befinden. Wenn du genau hinschaust, erkennst du Bilder in den Wassertropfen.



- a) Beschreibe, was du auf den Bildern der Wassertropfen siehst, und erkläre, wie die Bilder in den Tropfen zustande kommen.

- b) Entscheide, ob es sich um reelle oder virtuelle Bilder handelt.

- 2 Eine Sammellinse steht so auf dem Pult, dass an der Wand ein verkleinertes Bild des gegenüberliegenden Fensters zu sehen ist.

- a) Erkläre, wie die Lehrerin die Linse verschieben muss, damit ein vergrößertes Bild entsteht.
b) Beurteile, ob sie stattdessen auch einfach die Linse durch eine neue Linse mit kleinerer Brennweite austauschen kann.

➕ Hilfestellung unter: [MC 67048-16](#)



↳ weitere passende Aufgaben: S. 77, Nr. 12, 13, 14, 15, 16; S. 78, Nr. 24

Geometrische Abbildungen

Im vorherigen Kapitel und in den Schülerexperimenten haben wir beobachtet, wie Sammellinsen Lichtbündel verändern und welche Bilder sie erzeugen können. Jetzt wollen wir mit einfachen geometrischen Überlegungen Vorhersagen über die Lage und die Größe der erzeugten Abbildungen treffen. Ein scharfes Bild des Gegenstands erscheint dort, wo sich die Lichtstrahlen schneiden. Meist stellt man hier eine Mattscheibe oder eine Leinwand auf, die das Licht in alle Richtungen streut. Dadurch können wir das Bild bequem von allen Seiten aus betrachten.

Besondere Strahlen eines Lichtbündels

Um zu verstehen, wieso eine Sammellinse Bilder von Gegenständen erzeugen kann, beobachten wir nun den Weg einzelner, besonders ausgewählter Lichtstrahlen. Diese heißen Parallelstrahl, Mittelpunktstrahl und Brennpunktstrahl.

Im Experiment erkennen wir, dass der Mittelpunktstrahl, der durch den Linsenmittelpunkt geht, seine Richtung nicht verändert. Parallelstrahlen, also Strahlen, die zunächst parallel zur optischen Achse verlaufen, werden an der Linse so gebrochen, dass sie hinter der Linse durch den Brennpunkt F' verlaufen. Man sagt, der Parallelstrahl wird zu einem Brennpunktstrahl. Und umgekehrt wird ein Brennpunktstrahl nach Durchqueren der Linse zum Parallelstrahl.



Geometrische Bildkonstruktion mit besonderen Strahlen

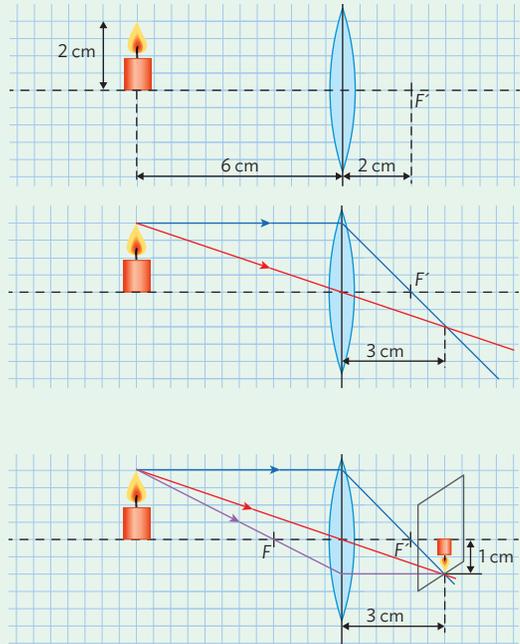
Mithilfe dieser besonderen Strahlen können wir nun vorhersagen, wo sich das Bild eines Gegenstands befinden wird (vgl. M3). Wenn wir exakt zeichnen, können wir auch die Größe des Bildes mit der Zeichnung bestimmen. Zwei der besonderen Strahlen genügen dabei, um stellvertretend für alle Lichtstrahlen eines wirklichen Lichtbündels, das von einem Punkt ausgeht, den Weg des Lichts nachzuzeichnen. Zur Vorhersage können wir sogar solche Lichtstrahlen auswählen, die nicht auf die Linse treffen. Das genaue Vorgehen wird in der [Methode](#) auf der nächsten Seite erläutert.

Methode

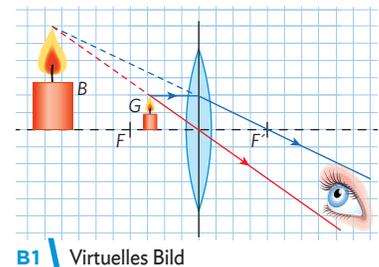
Geometrische Bildkonstruktion

Anhand des Beispiels einer Sammellinse mit $f = 2 \text{ cm}$ und einer Kerze mit $G = 2 \text{ cm}$ und $g = 6 \text{ cm}$ wollen wir Größe und Position des scharfen Bildes ermitteln.

1. Die Situation in Originalgröße oder in einem geeigneten Maßstab zeichnen. Bei den im Beispiel vorgegebenen Werten kannst du gut die Originalgrößen verwenden.
2. Den Verlauf des Mittelpunktstrahls und des Parallelstrahls von der Spitze der Kerzenflamme aus zeichnen. Du erhältst mit dem Schnittpunkt der beiden Lichtstrahlen den passenden Ort für die Mattscheibe. Der Abstand der Mattscheibe zur Linse kann nun gemessen werden (im Beispiel: $b = 3 \text{ cm}$).
3. Auf der Mattscheibe das (in diesem Fall verkleinerte und auf dem Kopf stehende) Bild der Kerzenflamme einzeichnen. Die Bildgröße kann nun gemessen werden (im Beispiel: $B = 1 \text{ cm}$). Zeichne zur Kontrolle noch den Brennpunktstrahl der Kerzenflammspitze ein. Auch dieser muss durch den Schnittpunkt gehen.

**Bildkonstruktion beim virtuellen Bild**

Wenn der Gegenstand zwischen Brennpunkt und Linse rückt, lässt sich kein reelles Bild mehr beobachten, weil die Strahlen sich nicht hinter der Linse schneiden: Wir sehen ein virtuelles Bild. Die Konstruktion der Situation ist in B1 dargestellt. Die große Kerze stellt das virtuelle Bild B, die kleine Kerze den Gegenstand G dar.



Arbeitsaufträge

- 1 | Antonia möchte die Kerze aus dem Beispiel in der Methode lieber vergrößert auf der Mattscheibe sehen. Stelle eine Vermutung auf, wo Kerze und Mattscheibe aufgestellt werden müssen und überprüfe sie mithilfe einer geometrischen Bildkonstruktion.
- 2 | Wie weit muss ein Gegenstand von der Sammellinse entfernt sein, damit sein Abbild wieder genauso groß ist wie er selbst?
 - a) Plane schriftlich ein Experiment, mit dem du diese Frage beantworten kannst. Führe es durch und notiere dir dann die Ergebnisse.
- 3 | Eine 5 cm hohe Kerze wird im Abstand von 3 cm vor einer Sammellinse mit Brennweite 4 cm aufgestellt.
 - a) Überlege, welche Art von Bild sich ergeben wird. Denke dabei sowohl an die Größe als auch an die Lage des Bildes.
 - b) Führe eine geometrische Konstruktion mit besonderen Strahlen durch und markiere die Stelle, an der sich das erzeugte Bild befindet.

↳ weitere passende Aufgaben: S. 77, Nr. 17, 18, 19

9 Auge und Optik in moderner Technik

Versuche und Materialien zu Kapitel 9.1

M1 Die Bildentstehung im Auge - Sachtext

Die Lichtstrahlen, die von einem Gegenstand in das Auge einfallen, werden durch einen optischen Apparat so gesammelt, dass auf der Netzhaut ein umgekehrtes und verkleinertes Bild entsteht. An der Lichtbrechung sind Hornhaut und Linse beteiligt. Da ihre Vorderseite an Luft grenzt, ist die Brechkraft der Hornhaut größer als diejenige der Linse; sie beträgt 43 Dioptrien.

Eine Dioptrie (= 1 D) entspricht der Brechkraft einer Linse von 100 cm Brennweite. Eine Linse von 2 D hat eine Brennweite von $(100 : 2)$ cm = 50 cm, eine solche von 60 D eine Brennweite von $100 : 60 = 1,67$ cm. Je größer die Dioptrienzahl ist, desto kleiner die Brennweite.

Die Linse wird durch den Ciliarkörper in ihrer Lage festgehalten. Sie ist kein starres Gebilde. Vielmehr kann die Krümmung besonders der vorderen Linsenfläche und damit die Brechkraft ziemlich stark verändert werden. Die Brechkraft schwankt zwischen 19 D bei Ferneinstellung und 33 D bei Naheinstellung. Die Einstellung erfolgt mit Hilfe des Ciliarkörpers. Er besteht aus dem Ciliarmuskel, der die Linse ringförmig umgibt. Von seiner Innenseite ziehen feine Fasern, die Linsenbänder, zum Rand der Linse. Sie zerren bei der Ferneinstellung des Auges ringsum an der Linse und flachen sie ab. Zum Betrachten naher Gegenstände akkommodiert das Auge. Dabei kontrahieren sich die Fasern des Ciliarmuskels. Dadurch werden die Linsenbänder entspannt, und die Linse kann sich, ihrer natürlichen Elastizität folgend, der Kugelform nähern. Dieser Vorgang vergrößert ihre Brechkraft. (...)

Der nächste Punkt, den man ohne Akkommodation scharf sieht, liegt 5 - 6 m vom Auge entfernt. Mit zunehmendem Alter verliert die Linse an Elastizität, so dass der nächste Punkt, der mit Akkommodation scharf gesehen wird, der Nahpunkt, immer weiter vom Auge abrückt. Bei Siebzigjährigen ist die Linse meist starr und kann sich nicht mehr auf Nahsehen einstellen.

Im Linsenaug wird auf der Netzhaut ein Bild der Umwelt erzeugt. Dieses Bild wird durch die Sinneszellen in einzelne Bildpunkte zerlegt: es wird aufgerastert. Im Facettenauge dagegen wird das Umweltbild schon durch den optischen Apparat in einzelne Bildpunkte zerlegt.

© Linder Biologie, 1983, S. 210

Arbeitsauftrag

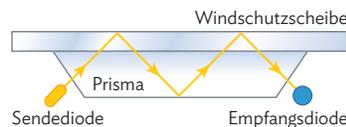
- Recherchiere im Internet zum Thema „Bildentstehung im Auge“. Notiere deine Internet-Links bzw. speichere diese Links in einer Datei, beispielsweise mit dem Namen „Quellen-Sachtext“ (Hinweis: Dateinamen werden oft als ein Wort geschrieben, wobei die zusammengesetzten Worte jeweils mit einem Großbuchstaben beginnen, um den Dateinamen besser lesen zu können.).
- Vergleiche den Inhalt deiner Internetquellen mit nebenstehendem Sachtext.
- Ordne den unterschiedlichen Quellen eine Adressatengruppe zu (Professor, Student, Laie, ...).
- Fasse zwei deiner Quellen in Form eines Sachtextes zusammen.
- Fertige Zeichnungen passend zu den Sachtexten aus d) an (Hinweis: Dies ist auch digital möglich).
- Recherchiere und erkläre, woraus Linse und Netzhaut bestehen.

Versuche und Materialien zu Kapitel 9.2

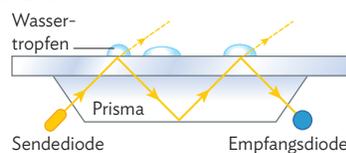
M2 Regensensoren von Autos - Totalreflexion

In neueren Autos sind sogenannte Regensensoren in der Windschutzscheibe verbaut. Diese sollen automatisch erkennen, ob und wie stark es regnet. Mit dieser Information kann der Scheibenwischer nicht nur automatisch bei Regen eingeschaltet sondern auch dessen Geschwindigkeit automatisch der Regenmenge angepasst werden. Dabei wird sich der Effekt der Totalreflexion zu Nutze gemacht. Dieser tritt auf, wenn Licht in einem bestimmten Winkel beim Übergang von einer optisch dünneren in eine optisch dichtere Schicht gebrochen wird. Diesen Effekt kennst du bereits aus Kapitel 7.1 (S. 61, B5).

(1) Lichtreflexion bei Trockenheit



(2) Lichtreflexion bei Nässe



Arbeitsauftrag

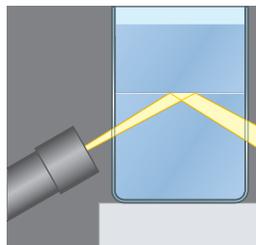
- Beschreibe die beiden Bilder links mit eigenen Worten. Gehe dabei insbesondere auch auf die Unterschiede zwischen beiden Bildern ein.
- „Ändert sich die Dichte des optischen Mediums, ändert sich auch der Winkel, unter dem eine Totalreflexion stattfindet.“ Erkläre mithilfe dieser Aussage und deinen Beschreibungen aus a), wie ein Regensensor funktioniert.

M3 UFOs in Afrika? - Totalreflexion an Luftschichten



Im Etosha-Nationalpark im Norden von Namibia sieht es manchmal so aus, als würde ein UFO dicht über dem Boden schweben. Bei diesem Phänomen handelt es sich um eine Luftspiegelung. Dabei durchqueren die Lichtstrahlen unterschiedliche Luftschichten verschiedener Dichte und werden an jedem Übergang zwischen zwei Luftschichten gebrochen. Insgesamt werden die Lichtstrahlen totalreflektiert.

Ein Modellexperiment zu dem Thema lässt sich wie folgt durchführen: In ein Glasgefäß mit geraden Wänden wird mit Tinte gefärbtes Zuckerwasser gegeben (50 g Zucker in 100 ml Wasser gelöst). Darüber wird eine Schicht ebenso gefärbten Wassers gefüllt - langsam an der Gefäßwand herunterrinnend! Der Lichtstrahl einer Lampe mit Blende wird eingestrahlt.

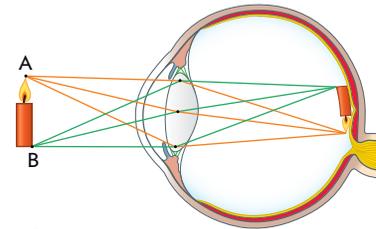


Arbeitsauftrag

- Recherchiere und erkläre, was eine „Fata Morgana“ ist.
- Führe das Experiment mit den Zuckerwasser-Wasser-Schichten durch und skizziere den Weg des Lichtstrahls.
- Skizziere die Totalreflexion an der Grenzfläche kalte Luft-heiße Luft in dein Heft und zeichne das links abgebildete „UFO“ sowie dein Auge ein.
- Erkläre, warum im Hochsommer heiße, trockene Straßen manchmal „nass“ aussehen. Erstelle dafür eine geeignete Skizze, die einen Lichtstrahl, die Straße und dein Auge enthält.

Bildentstehung im Auge

Im letzten Kapitel haben wir untersucht, wie das Licht in Sammellinsen gebrochen wird. Dabei haben wir gesehen, dass, je nach Brennweite der Linse, der Abstand, bei dem ein Bild scharf dargestellt wird, variiert.



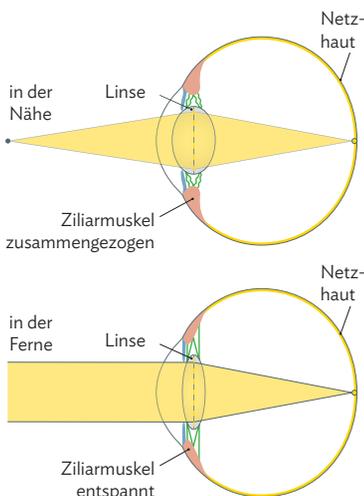
B1 Bildentstehung im Auge.

Auch in unserem Auge befindet sich eine solche Sammellinse, damit wir unsere Umgebung scharf wahrnehmen können (vgl. B1).

Die von dem Punkt eines Gegenstandes ausgehenden Lichtstrahlen werden von der Augenlinse gebündelt und auf einen Punkt auf der Netzhaut abgebildet. Das Bild des Gegenstandes steht auf dem Kopf, ist seitenverkehrt und kleiner als das Original, weil Gegenstände immer weiter vom Auge entfernt sind als die doppelte Brennweite des Auges ($f \approx 20$ mm). Nähert sich der Gegenstand dem Auge, dann wird das Bild auf der Netzhaut größer.

Unser Auge bildet verschieden weit entfernte Gegenstände nicht nur unterschiedlich groß ab, sondern vor allem scharf. Da die Bildweite beim Auge fest vorgegeben ist, muss dafür die Brennweite unserer Augenlinse veränderlich sein. Diesen Vorgang nennt man Akkommodation (vgl. B2): Bei einem nahen Gegenstand laufen die Lichtstrahlen in Richtung Auge stark auseinander. Damit die Linse diese Bündeln kann, muss sie stark gekrümmt sein, also eine kurze Brennweite haben.

Bei Anspannung eines Muskels im Auge geht die normalerweise flach auseinandergezogene, gallertartige Linse in ihre ursprüngliche, stark gekrümmte Form zurück. Mit Anstrengung können daher auch nahe Gegenstände scharf gesehen werden. Es gibt jedoch eine minimale Entfernung für scharfes Sehen, den so genannten Nahpunkt.



B2 Zusammenziehen und Strecken der Linse im Auge (Akkommodation).

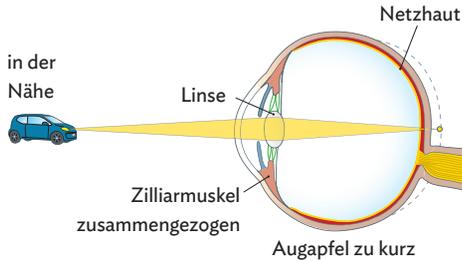
Das Bild eines Gegenstandes auf der Netzhaut steht auf dem Kopf, ist seitenverkehrt und kleiner als das Original. Akkommodation ist die Veränderung der Brennweite der Augenlinse, angepasst an den Abstand des Gegenstandes.

Fehlsichtigkeit

Wie unterscheiden sich die Augen von Kurz- und Weitsichtigen jeweils im Vergleich zu Normalsichtigen?

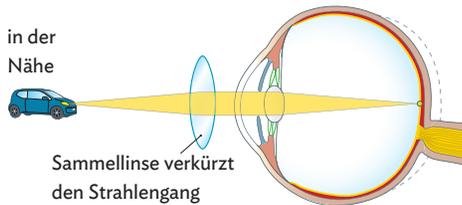
Selbst bei Normalsichtigen kann die Augenlinse ihre Brennweite nur in einem gewissen Bereich verstellen. Ganze nahe sowie weit entfernte Gegenstände erscheinen daher unscharf.

Bei einer angeborenen Weitsichtigkeit ist der Augapfel zu kurz. Selbst die



stark gekrümmte Linse bildet einen nahen Punkt erst hinter der Netzhaut scharf ab (vgl. B3).

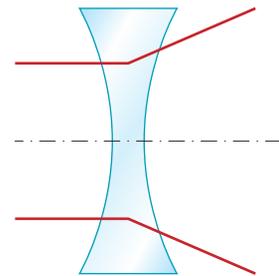
Umgekehrt ist bei einer angeborenen Kurzsichtigkeit der Augapfel zu lang. Sogar die schwach gekrümmte Augenlinse bildet einen weit entfernten Punkt bereits vor der Netzhaut scharf ab.



Die Fehlsichtigkeit kann korrigiert werden. Bei Weitsichtigkeit ist die Augenlinse zu wenig gekrümmt und

B3 | Weitsichtigkeit und ihre Korrektur durch eine Sammellinse.

wird durch eine zweite Sammellinse unterstützt (vgl. B3). Als Brille wird diese vor das Auge gebracht oder als Kontaktlinse direkt auf die Hornhaut gelegt. Bei Kurzsichtigkeit ist die Linse zu stark gekrümmt. Es wird eine zusätzliche Linse zwischen Gegenstand und Auge gebracht, die in der Mitte dünner ist als am Rand, eine sogenannte Zerstreuungslinse, vgl. B4.



B4 | Zerstreuungslinse

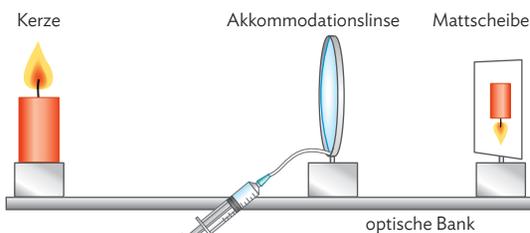
i Alternativ kann die Hornhaut auf der optischen Achse durch eine Laser-Operation abgetragen werden.

Bei den angeborenen Weit- und Kurzsichtigkeiten sind die Bildweiten zu lang bzw. zu kurz. Weitsichtigkeit wird mit einer Sammellinse, Kurzsichtigkeit mit einer Zerstreuungslinse korrigiert. Die Linsen können als Brille oder Kontaktlinse getragen werden.

Arbeitsaufträge

- 1 | Eine Person kommt von der Ferne auf dich zu. Erkläre Größe und Schärfe der Person auf deiner Netzhaut, wenn du...
 1. normalsichtig bist.
 2. kurzsichtig bist.
 3. weitsichtig bist.
 4. weitsichtig bist und eine Brille mit Sammellinse trägst.

- 2 | Bei einer Akkommodationslinse kann die Krümmung durch Hineinpressen oder Herausziehen von



↳ weitere passende Aufgaben: S. 78, Nr. 21, 23

Wasser verändert werden. In der Darstellung links bildet die Akkommodationslinse die Kerze scharf auf die Mattscheibe ab. Erkläre, ob Wasser in die Linse hineingedrückt oder herausgezogen werden muss, wenn die Kerze an die Linse herangerückt wird und weiterhin scharf auf der Mattscheibe abgebildet werden soll.

- 3 | Erkläre, was die Tabelle aussagt, und beurteile durch eigene Anschauung, ob und in welchem Bereich dir die Tabelle als richtig erscheint.

Alter in Jahren	5	35	55
Nahpunkt in cm	8	15	35

Ermittle dazu deinen Nahpunkt als Abstand, bei dem du mit einem Auge ein Kreuz auf deinem Dauernagel gerade noch scharf siehst.

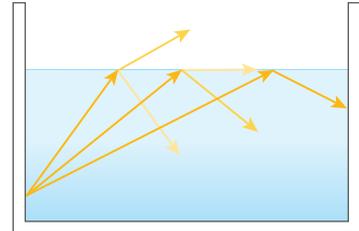


B1 Totalreflexion eines Haifischs an der Wasseroberfläche.

Totalreflexion

In B1 siehst du einen Haifisch unter Wasser. Die Wasseroberfläche erscheint wie ein Spiegel, in dem das Bild des Hais zu sehen ist.

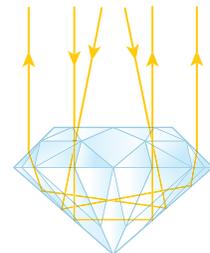
Beim Übergang vom optisch dichteren Stoff Wasser in den optisch dünneren Stoff Luft wird ein Teil eines Lichtstrahls an der Grenzfläche reflektiert, ein anderer Teil wird gebrochen (B2 links). Bei einem flachen Einfall des Lichtstrahls auf die Grenzfläche tritt der gebrochene Strahl nicht mehr in die Luft über (B2 Mitte). Dieses Phänomen wird Totalreflexion genannt. Es tritt ebenfalls bei einem noch flacheren Einfall des Lichtes auf (B2 rechts). Auch in M2 und M3 hast du dieses Phänomen bereits untersucht.



B2 Totalreflexion von Lichtstrahlen an der Wasseroberfläche.

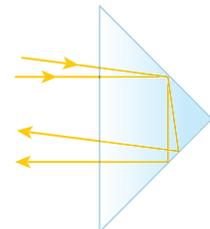
Beim Übergang von einem optisch dichteren Stoff in einen optisch dünneren Stoff wird Licht bei flachem Einfall an der Grenzfläche totalreflektiert.

In einem speziell geschliffenen Diamanten, einem sogenannten Brillanten (B3), werden die einfallenden Lichtstrahlen mehrfach an der Grenzfläche Diamant-Luft totalreflektiert und entgegen ihrer Einfallsrichtung reflektiert. Der Betrachter beobachtet ein „Funkeln und Glitzern“ des Brillanten.



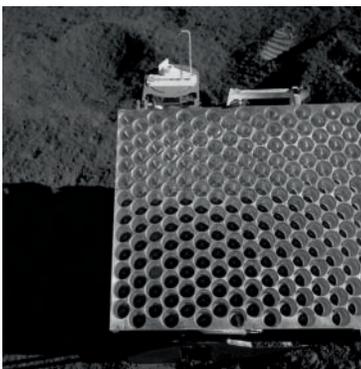
B3 Brillant.

In einem Reflexionsprisma werden die einfallenden Lichtstrahlen zweimal an der Grenzfläche Glas – Luft totalreflektiert und genau entgegen der jeweiligen Einfallsrichtung reflektiert (B4).



B4 Reflexionsprisma.

Mehrere solche Reflexionsprismen wurden auf den Mond gebracht (B5). Damit werden Lichtblitze eines Lasers von der Erde zurückreflektiert. Aus den gemessenen Flugzeiten der Lichtblitze wird mithilfe der Lichtgeschwindigkeit die Entfernung Erd-Mond berechnet. Auf diese Weise wurde beobachtet, dass der Mond sich um knapp 4 cm pro Jahr von der Erde entfernt.



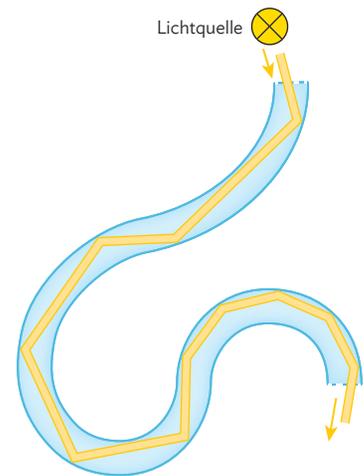
B5 Reflexionsprismen auf dem Mond.

Lichtleiter

Die Totalreflexion wird in vielen technischen Anwendungen verwendet. Eine der häufigsten ist der Lichtleiter, bei dem ein Lichtsignal über lange Strecken durch ein Kabel übertragen werden kann. Mit einem einfach Ex-

periment lässt sich das Prinzip verdeutlichen: In ein Reagenzglas mit ausgehärteter Gelatine wird ein Lichtstrahl eingestrahlt und dessen Strahlenverlauf beobachtet (vgl. Nr. 3). Das Licht wird aufgrund der Totalreflexion an der Grenzschicht Glas-Luft im Reagenzglas weitergeleitet. Solche Lichtleiter werden in der Technik vollständig aus Glas gefertigt und können so Licht über größere Strecken leiten und um Kurven führen (B7).

Mithilfe von Lichtsignalen können durch Lichtleiter große Mengen an Daten übertragen werden, z. B. für das Streamen von Filmen. In der Zahnmedizin oder in Nagelstudios wird intensives, ultraviolettes Licht direkt auf Klebstoffe geleitet, um diese schnell auszuhärten. In der Medizin erlaubt ein Bündel von vielen dünnen nebeneinander liegenden Lichtleitern die punktweise Übertragung eines Bildes, z. B. aus dem Körperinneren.

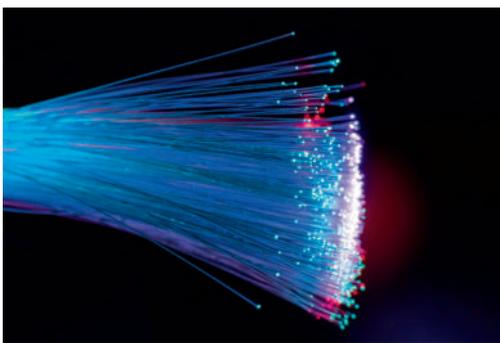


B7 | Lichtleiter mit Totalreflexionen.

Lichtleiter transportieren Licht häufig aufgrund von Totalreflexionen. Die technischen Anwendungen sind zahlreich, z. B. bei der digitalen Signalübertragung.

Arbeitsaufträge

- 1 | a) Zeichne ein Reflexionsprisma in Form eines gleichschenkelig rechtwinkligen Dreiecks in dein Heft (vgl. B4). Zeichne dort unter Beachtung des Reflexionsgesetzes bei jeder Totalreflexion mindestens zwei verschiedene Lichtstrahlen ein.
b) Ersetze das Reflexionsprisma durch einen Spiegel und zeichne auch dort die Strahlengänge ein. Vermute aufgrund der Zeichnung, warum auf dem Mond kein Spiegel statt dem Reflexionsprisma aufgestellt wurde.
- 2 | Erkläre, warum die dargestellte Faser-Dekolampe hauptsächlich am Ende der Glasfaser leuchtet.
- 3 | a) Fülle ein Reagenzglas mit Wasser, das ein wenig Milch enthält, und verschließe es mit einem Gummistopfen, sodass keine Luftblase enthalten ist.
b) Erkläre, warum die Lichtleitung mit Gelatine besser als mit Wasser funktionieren sollte, wenn die optischen Dichten von Gelatine und Glas in etwa gleich groß sind.
- 4 | Glasfasern besitzen eine Hülle aus einem optisch dünneren Stoff um einen Kern aus einem optisch dichteren Stoff.
a) Recherchiere technisch verwendete Materialien.
b) Nenne Gründe, warum die Hülle nicht weggelassen werden kann.
c) Recherchiere die an deinem Ort verfügbare Datenrate im Glasfaser-Netz.
- 5 | Das Mineral Ulexit wird „Fernsehstein“ genannt. Recherchiere dessen besonderen Aufbau und erkläre damit die Beobachtung im Bild rechts.



- 3 | a) Fülle ein Reagenzglas mit Wasser, das ein wenig Milch enthält, und verschließe es mit einem

↳ weitere passende Aufgaben: S. 77, Nr. 20; S. 79, Nr. 25

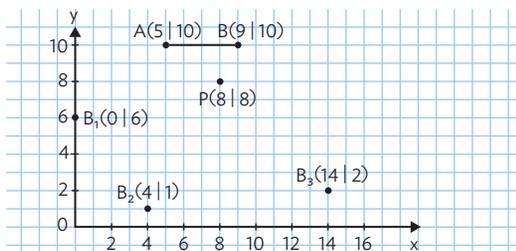


Basisaufgaben

- 1 | Auf der Motorhaube von Polizei-, Rettungs- und Feuerwehrgen steht deren Name, aber oft verkehrt herum. Begründe, warum dies sinnvoll ist.

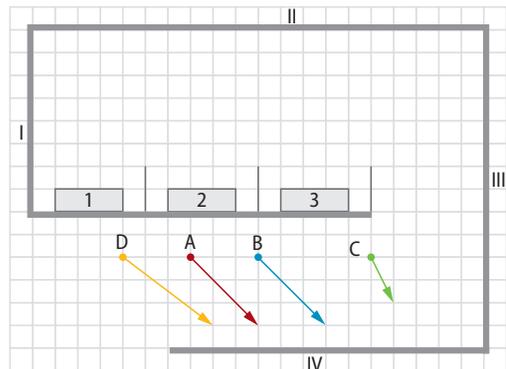


- 2 | Der Einfallswinkel eines Lichtstrahls auf einen ebenen Spiegel beträgt 35° . Konstruiere den reflektierten Strahl und beschrifte die Zeichnung.
- 3 | Mithilfe einer Armbanduhr und des Sonnenlichts kannst du einen Lichtfleck an einer Wand erzeugen. Erkläre genau, wie es möglich ist, diesen an der Wand zu bewegen. Gehe dabei auch auf die Stellung des Uhrglases ein.
- 4 | Laptops kann man mit matten oder mit glänzenden Bildschirmen kaufen. Schreibe eine Kaufempfehlung mit Argumenten für beide Monitorarten und begründe, wofür du selbst dich entscheiden würdest.
- 5 | Übernimm die Abbildung entsprechend der Koordinaten in dein Heft. Entscheide mit einer geeigneten Konstruktion, welche der Beobachter B_1 , B_2 und B_3 das Bild des Punktes P im Spiegel AB sehen können.

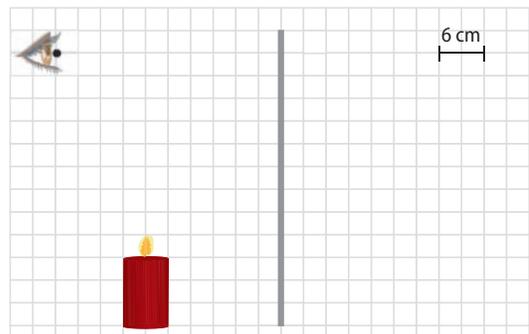


- 6 | Bildkonstruktion im Koordinatensystem: Du stehst im Punkt I (2 | 3). Konstruiere den Standpunkt einer Lampe, wenn ihr Spiegelbild im Punkt $L'(-4 | -2)$ liegt und der Spiegel folgende Lage hat:
- Spiegel liegt auf der x-Achse.
 - Spiegel liegt auf der y-Achse.

- 7 | Astrid (A), Benni (B), Cleo (C) und Damian (D) stehen in einem Spiegellabyrinth (Spiegel I bis IV) und leuchten mit ihren Laser-Pointern in die vorgegebenen Richtungen. Begründe durch Konstruktion, welchen Lichtsensor (1, 2 oder 3) sie jeweils treffen.



- 8 | a) Konstruiere das Spiegelbild der Kerze und den Lichtweg der Kerzenflamme zum Auge.



- b) Gib an, in welche Richtung man blicken muss, um die Kerzenflamme im Spiegel zu sehen.
- c) Bestimme die Entfernung, auf die ein Fotoapparat eingestellt werden muss, damit das Spiegelbild der Kerzenflamme scharf fokussiert wird.

- 9 | Wohin muss der Jäger zielen, um mit seinem Speer einen Fisch zu treffen?

- Genau auf den Fisch.
- Unterhalb des Fisches.
- Oberhalb des Fisches.



Begründe deine Wahl mit einer Skizze.

- 10** \ In Museen befinden sich wertvolle Ausstellungsstücke oft hinter dickem Panzerglas.
- Gib an, bei welcher Blickrichtung wir den Gegenstand an seinem „wahren“ Ort sehen.
 - Begründe, ob wir bei schräger Blickrichtung den Gegenstand in seiner wirklichen Gestalt sehen.

11 \ Eine Taucherin befindet sich unter Wasser und schaut nach oben zur Wasseroberfläche. Beschreibe, wie sie ihre Umgebung sieht.

12 \ Erkläre den Unterschied zwischen einem reellen und einem virtuellen Bild. Begründe, bei welchen optischen Gegenständen sie auftreten können.

13 \ Suche in deiner Umgebung Sammellinsen (z. B. im Smartphone) und informiere dich über ihre Brennweiten. Stelle einen Zusammenhang mit den jeweiligen Einsatzzwecken her.

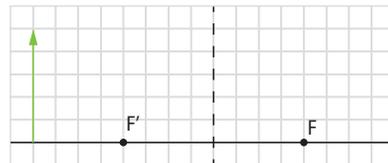
14 \ Als Spielzeug gibt es „Kaleidoskoplinsen“, die keine glatte Oberfläche besitzen, sondern die aus kleinen dreidimensionalen Prismen zusammengesetzt sind. Untersuche sie und beschreibe, warum sie trotzdem Lichtbündeln können. Bestimme experimentell ihre Brennweite.



15 \ Beschreibe, wie eine punktförmige Lichtquelle und eine Sammellinse montiert sein müssen, damit durch die Linsenöffnung ein paralleles Lichtbündel austritt. Gib an, wann das austretende Bündel sich nach der Linse weiter verbreitert und wann es schmaler wird.

16 \ Kann man mit einer zweiten Sammellinse das virtuelle Bild einer anderen reell machen? Begründe deine Antwort, indem du darauf eingehst, wie wir mit unseren Augen virtuelle Bilder wahrnehmen können.

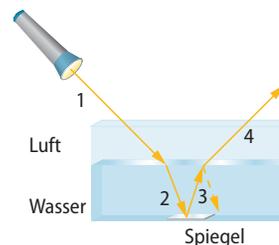
17 \ Übertrage die Zeichnung in dein Heft. Konstruiere den Strahlenverlauf bei Abbildung mit einer Sammellinse an der gestrichelten Linie und zeichne das Bild des Gegenstandes ein. Gib an, welcher der Fälle aus dem Schülerexperiment (Tabelle auf S. 65) dargestellt ist.



18 \ Im Abstand von 30 cm, 40 cm und 60 cm stehen vor einer Sammellinse ($f = 20$ cm) drei je 20 cm hohe Kerzen. Konstruiere die Bilder im Maßstab 1 : 10.

19 \ Bearbeite die Aufgaben 15 und 18 auch mit einem geeigneten Simulationsprogramm.

20 \ Ein Lichtstrahl trifft von Luft ausgehend auf eine Wasseroberfläche.



- Beschreibe den Strahlengang in den Abschnitten 1 bis 4.
- Skizziere einen vergrößerten Querschnitt der Anordnung ins Heft und trage die Lichtstrahlen ein. Bezeichne alle auftretenden Winkel.
- Strahl 1 fällt unter einem Winkel von 30° ein und wird unter einem Winkel von 22° gebrochen. Gib an, wie groß alle anderen, von dir bezeichneten Winkel sind.
- Beurteile, ob es möglich ist, Strahl 1 so auftreffen zu lassen, dass Strahl 3 totalreflektiert wird.

Zusammenfassende Aufgaben

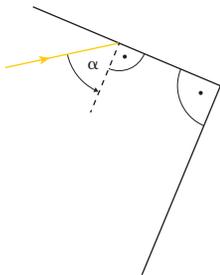
21 | Fehlsichtigkeit

a) Beschreibe, was die Brillen in den Bildern jeweils bewirken.



- b) Ein Schüler aus der letzten Reihe kann das Tafelbild nicht erkennen. Beschreibe, welche Fehlsichtigkeit hier vorliegt. Empfiehl ihm eine der beiden Brillen, damit er das Tafelbild scharf erkennen kann.
- c) Recherchiere, was der Unterschied zwischen Weit- und Alterssichtigkeit ist. Fasse deine Erkenntnisse in einem kurzen Text zusammen.

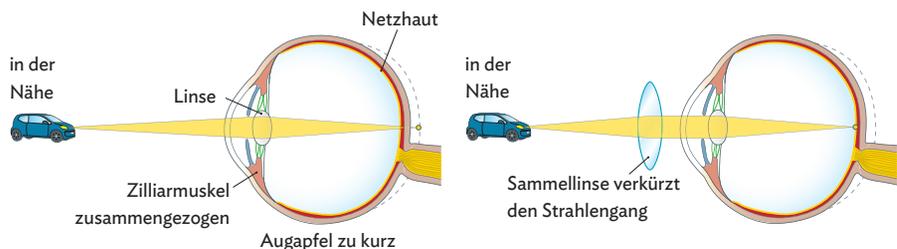
22 | Winkelspiegel



- a) Zwei Spiegel bilden einen Winkel von 90° miteinander. Ein Lichtstrahl fällt unter dem Winkel α auf den einen Spiegel. Konstruiere den Lichtweg für $\alpha = 20^\circ$; $\alpha = 40^\circ$; $\alpha = 75^\circ$. Formuliere dann eine Auffälligkeit.
- b) Du kennst Lichtreflektoren am Fahrrad („Katzenaugen“). Untersuche, wie sie aufgebaut sind, und erkläre dann ihre Funktionsweise.
- c) Stelle zwei Spiegel wie in der Skizze auf und lege einen kleinen Gegenstand in den Raum vor den Spiegeln. Verändere dann den Winkel zwischen den Spiegeln. Beschreibe deine Beobachtung und achte dabei vor allem darauf, bei welchen Winkeln ein neues Spiegelbild auftaucht oder verschwindet.

23 | Kurz- und Weitsichtigkeit

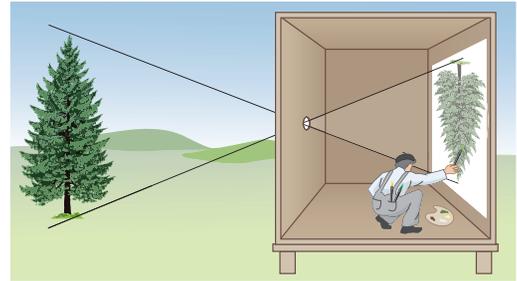
Im Bild ist die Weitsichtigkeit schematisch dargestellt und wie sich diese mithilfe einer Sammellinse beheben lässt.



- a) Beschreibe zunächst, was man unter Weitsichtigkeit und Kurzsichtigkeit versteht.
- b) Erkläre, was genau in dem Bild zur Korrektur der Weitsichtigkeit geschieht.
- c) Recherchiere, wie eine Zerstreuungslinse die Lichtstrahlen bricht.
- d) Erstelle auch für die Kurzsichtigkeit eine Skizze ähnlich der Abbildung oben. Füge dort wie im Bild oben ebenfalls eine Linse ein und zeige damit, wie die Kurzsichtigkeit korrigiert wird. Nutze dafür deine Kenntnisse aus Aufgabe c).

24 | Camera Obscura

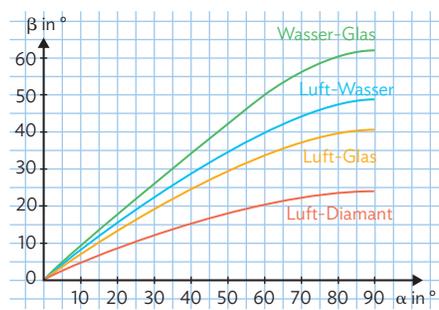
Auch kleine Löcher erzeugen Bilder der Umgebung. Schon seit dem Mittelalter verwenden Maler die rechts dargestellte Art von Kasten, um Skizzen von Landschaften zu erhalten. Sie setzen sich in den völlig dunklen Raum, in den nur durch ein sehr kleines Loch Licht hineinfällt. Hat sich das Auge erst einmal an die Dunkelheit gewöhnt, dann sieht man auf der dem Loch gegenüberliegenden Seite ein verkleinertes, auf dem Kopf stehendes Bild von der Landschaft draußen.



- Baue dir eine Camera Obscura als Handkamera und beobachte erste Bilder. Im Internet findest du dazu genauere Anleitungen.
- Wenn man vor das Loch noch eine Sammellinse setzt, wird das Bild viel heller. Probiere es aus und erkläre, warum das so ist.

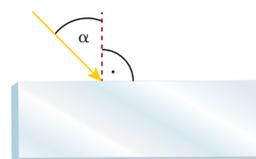
25 | Berechnung zur Brechung

Der Zusammenhang zwischen dem Einfallswinkel α und dem Brechungswinkel β gehorcht keiner einfachen mathematischen Formel. Im dargestellten Diagramm können wir aber den zum Einfallswinkel gehörigen Brechungswinkel gut ablesen. Beträgt etwa der Einfallswinkel in Luft 30° , dann ist der Brechungswinkel an der Grenzfläche zu Diamant 12° , an der Grenzfläche zu Glas 19° und an der Grenzfläche zu Wasser 22° . Wir können das Diagramm auch „umgekehrt“ lesen: Beträgt beim Übergang von Glas zu Luft der Einfallswinkel im Glas 30° , dann ermittelt man den Brechungswinkel in Luft, indem man bei $\beta = 30^\circ$ beginnt und den beim Luft-Glas-Graphen zugehörigen Winkel α zu 50° abliest.



Wir können das Diagramm auch „umgekehrt“ lesen: Beträgt beim Übergang von Glas zu Luft der Einfallswinkel im Glas 30° , dann ermittelt man den Brechungswinkel in Luft, indem man bei $\beta = 30^\circ$ beginnt und den beim Luft-Glas-Graphen zugehörigen Winkel α zu 50° abliest.

- Ein Lichtstrahl trifft aus der Luft unter $\alpha = 40^\circ$ auf die Oberfläche einer planparallelen Platte aus Glas (siehe Zeichnung rechts). Zeichne und erkläre den weiteren Verlauf des Lichtstrahls. Entnimm den zugehörigen Brechungswinkel dem Diagramm.



- Kommt ein Lichtstrahl aus einem Diamanten, so kann er ab einem bestimmten Einfallswinkel die Grenzfläche Diamant-Luft nicht mehr durchdringen. Bestimme aus dem Diagramm diesen Grenzwinkel. Nenne den Fachbegriff für diesen Effekt.
- Die genauen Winkel sind entscheidend für die Funktion eines Regensensors (vgl. M2 auf S. 71). Betrachte zunächst die obere Abbildung auf S. 71; bei ihr ist entscheidend, dass der Lichtstrahl total reflektiert wird. Bestimme aus dem Diagramm den größten Winkel β im Glas, unter dem das noch möglich ist. Begründe dann, dass unter dem gleichen Winkel β zwischen Glas und Wasser keine Totalreflexion geschieht. Erläutere die Konsequenzen für die Stärke des Lichts, das bei Regen noch am Sensor ankommt.

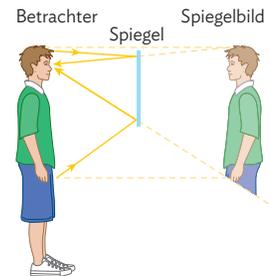


Selbsttest-Checkliste

- ✓ Bearbeite die Aufgaben schriftlich in ordentlicher Form. Die Auswertungstabelle zeigt die Kompetenzerwartungen und Hilfestellungen.
- ✓ Vergleiche deine Lösungen mit den Lösungsskizzen unter [MC 67048-17](#)
- ✓ Bewerte nun deine Lösungen selbst mit den Symbolen 😊, 😐 oder ☹️.



- 1** In der nebenstehenden Zeichnung wird durch Strahlengänge zum Auge des Betrachters verdeutlicht, weshalb ein kleiner, halbhoch aufgehängter ebener Spiegel genügt, um den eigenen Körper vom Scheitel bis zum Hüftbereich als Spiegelbild sehen zu können.



- a) Erläutere, mit welchem zeichnerischen Vorgehen du für die skizzierten realen Komponenten, Betrachter und Spiegel, die Ausmaße des Spiegelbilds wie in der Skizze erhältst.
- b) Zeichne maßstäblich für eine Person deiner Körpergröße, z. B. 155 cm, und deiner Augenhöhe, z. B. 145 cm, das Spiegelbild. Die Person soll 60 cm vom Spiegel entfernt stehen. Die untere Kante des 60 cm hohen Spiegels befinde sich auf der Höhe 90 cm. Könnte die Person ihren Kopf, ihre Hüfte, ihre Knie, ihre Füße vollständig im Spiegel erkennen?
- c) Du kneifst dein rechtes Auge zu, hebst den linken Zeigefinger und betrachtest dein Spiegelbild mit dem linken Auge. Skizziere die Situation aus der Vogelperspektive um darzustellen, weshalb die „bekannte Person im Spiegel“ ihr linkes Auge zukneift und mahndend ihren rechten Zeigefinger hebt.

- 2** Du hast im Schülerexperiment die Abbildung eines leuchtenden Körpers durch eine Sammellinse auf eine Mattscheibe untersucht.

- a) Benenne die fünf relevanten Größen in diesem Experiment. Stelle die erforschten Zusammenhänge zwischen ihnen übersichtlich in einer Tabelle dar.
- b) Fertige eine saubere, beschriftete Skizze des Versuchsaufbaus an.
- c) Beschreibe stichwortartig dein strukturiertes experimentelles Vorgehen, das zu den neuen Erkenntnissen geführt hat.

- 3** Mit einer Sammellinse soll für einen Gegenstand zunächst ein virtuelles, dann ein reelles Bild erzeugt und betrachtet werden.

- a) Skizziere den Strahlengang für das virtuelle Bild bei selbst gewählter Linsenbrennweite, Gegenstandsgröße und Gegenstandsweite. Wohin muss der Betrachter blicken, damit er das Bild sehen kann?
- b) Skizziere den Strahlengang für das reelle Bild bei selbst gewählter Linsenbrennweite, Gegenstandsgröße und Gegenstandsweite. Wohin muss der Betrachter blicken, damit er das Bild sehen kann?

- 4 Der Umgang mit hellen Lichtquellen und optischen Gerätschaften, wie Spiegel und Linsen, ist nicht ohne Gefährdungsrisiko. Nenne in diesem Zusammenhang mindestens drei Sicherheitshinweise, die man stets befolgen sollte. Erläutere auch, welchen Schaden im Unglücksfall das menschliche Auge durch Lichtquellen und Linsen nehmen könnte.
- 5 Stelle auf einer übersichtlich gestalteten DIN A4-Seite oder auf drei digital erstellten Präsentationsfolien die wichtigsten und interessantesten Informationen dar, die du aus folgender, im Internet recherchierter Fundstelle entnehmen kannst.



Unsere Augen vollbringen permanent Höchstleistungen – (...) Sie nehmen in jeder Sekunde mehr als 10 Millionen Informationen auf, die sie in rasanter Geschwindigkeit an das Gehirn weiterleiten. Quasi „nebenbei“ unterscheiden sie zwischen 600.000 verschiedenen Farbtönen.

Ein Großteil unserer Sehfähigkeiten und -leistungen wird von einem Punkt im Auge erbracht: dem Zentrum der Netzhaut, dem sogenannten gelben Fleck (Makula). (...) in der Makula liegen auf einer Fläche von 5 mm² rund 95 Prozent aller Sehzellen. Sie unterscheiden nicht nur zwischen Hell und Dunkel, sie sorgen auch dafür, dass wir scharf und farbig sehen können.

Wenn wir einen Gegenstand betrachten, beispielsweise eine Blume, treffen die von dieser Blume reflektierten Lichtstrahlen auf die Hornhaut. Die Hornhaut bündelt das Licht, das dann hinter der vorderen Augenkammer auf die Regenbogenhaut (Iris) trifft. Die Iris arbeitet wie eine Kamerablende: Bei Dunkelheit weitet sich die kreisförmige Öffnung (Pupille) der Iris, bei Helligkeit wird diese Öffnung kleiner. Die dahinterliegende Linse bündelt das einfallende Licht weiter und reguliert die Nah- und Fernsicht. Das Lichtbündel gelangt danach durch den Glaskörper hinter der Linse auf die Netzhaut (Retina). Die Netzhaut besteht unter anderem aus weit über 100 Millionen Sehzellen.

Es gibt zwei Typen von Sehzellen: die lichtempfindlicheren Zapfen, die für das Farbsehen sorgen, und die Stäbchen, die für das Dämmerungs- und Nachtsehen verantwortlich sind. Die Sehzellen setzen das Licht in Nervenimpulse um. Diese Impulse werden über den Sehnerv ins Gehirn weitergeleitet. Dort entsteht schließlich das Bild der Blume. (...)

© 2019 Novartis AG, <https://www.bewahren-sie-ihr-auge/licht.de/>

- 6 a) Erläutere mithilfe einer ausführlich kommentierten Skizze zu einem Demonstrationsexperiment aus dem Physikunterricht das Phänomen der Totalreflexion.
- b) Beschreibe zwei technische Anwendungen der Totalreflexion aus der Medizin und Nachrichtentechnik. Gehe auf die besondere Bedeutung im modernen Einsatz ein.

Auswertungstabelle

Ich kann...	Hilfe
1 strukturierte Erklärungen zur Entstehung von Spiegelbildern mithilfe des Modells zur Lichtausbreitung und zum Reflexionsgesetz nachvollziehen.	S. 52-57
2 Experimente zur Untersuchung der Abbildung durch eine Sammellinse planen, durchführen und dokumentieren. Die sich dabei ergebenden Zusammenhänge der relevanten Größen kann ich formulieren.	S. 62-65
3 die Entstehung virtueller und reeller Bilder bei einer Sammellinse erklären und mithilfe von eigenen Zeichnungen veranschaulichen.	S. 64-69
4 Risiken beim Umgang mit Lichtquellen und optischen Geräten benennen und somit vorgegebene Sicherheitshinweise begründen.	S. 52-71
5 Sachtexte und Rechercheergebnisse zur Bildentstehung beim Auge korrekt zusammenfassen und dazu aussagekräftige Zeichnungen erstellen, auch mithilfe digitaler Medien.	S. 70 ff
6 technische Anwendungen der Totalreflexion beschreiben und deren Bedeutung für die Medizin oder die Nachrichtentechnik erläutern.	S. 74-75

Reflexionsgesetz, Spiegel und virtuelles Bild

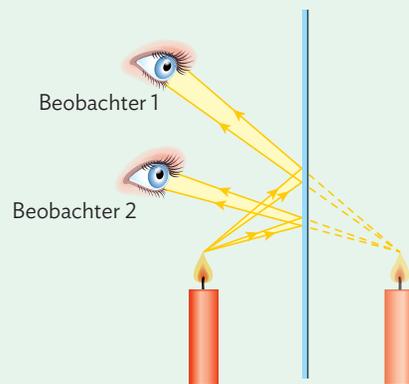
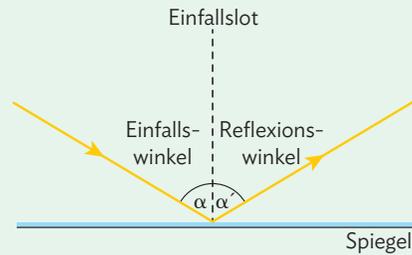
1. Du weißt, dass einfallender Lichtstrahl, reflektierter Lichtstrahl und Lot in einer Ebene liegen.
2. Einfallswinkel α und Reflexionswinkel α' sind immer gleich groß: $\alpha = \alpha'$.

Du bist dir bewusst, dass man dies zusammen (1. und 2.) als Reflexionsgesetz bezeichnet.

Du weißt, dass Licht sich gut mit einem Modell beschreiben lässt. Zu Beispielen aus dem Alltag kannst du mit dem Modell des Lichtstrahls Erklärungen formulieren, wie das Spiegelbild entsteht.

Das Spiegelbild ist genauso groß wie der Gegenstand selbst. Je nach Blickwinkel sind oben und unten, links und rechts oder vorne und hinten vertauscht. Das Spiegelbild befindet sich genauso weit hinter dem Spiegel wie der Gegenstand vor dem Spiegel steht.

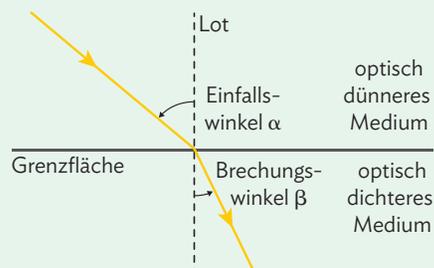
Wir bezeichnen das Spiegelbild als virtuelles Bild. Du kannst den Begriff begründen, weil dieses Bild nie auf einem Schirm abgebildet werden kann.



Brechung

Trifft Licht schräg auf die Grenzfläche zweier verschiedener, lichtdurchlässiger Materialien, so ändert es seine Richtung. Du kannst dieses Phänomen benennen, es heißt Brechung des Lichts.

Das Licht wird beim Übergang ins optisch dichtere Medium zum Lot hin gebrochen (siehe Abb.), im anderen Fall vom Lot weggebrochen.

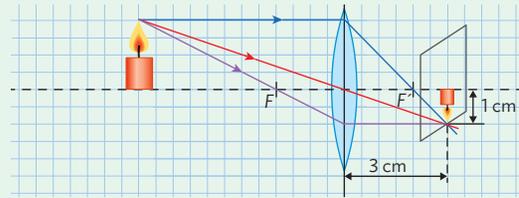
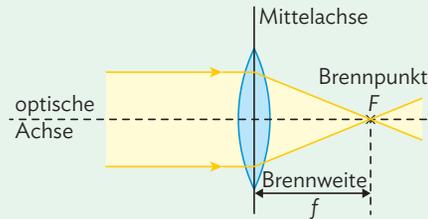


Linsen

Linsen, die in der Mitte dicker sind als am Rand, heißen Sammellinsen (Abb.). Im umgekehrten Fall handelt es sich um Zerstreuungslinsen.

Du weißt, wie man die Brennweite einer Sammellinse bestimmen kann. Man nimmt ein Lichtbündel, das parallel zur optischen Achse einfällt. Aus dem Abstand zwischen Mittelachse und Brennpunkt ergibt sich die Brennweite f .

Mithilfe von Mittelpunktstrahl, Parallelstrahl und Brennpunktstrahl kannst du reelle und virtuelle Bilder bei einer Sammellinse konstruieren. Gegenstandsweite g , Bildweite b und Brennweite f stehen in einer festen Beziehung.



Auge und moderne Optik

Du hast verstanden, wie im Auge das Bild auf der Netzhaut erzeugt wird. Das Bild eines Gegenstandes auf der Netzhaut steht auf dem Kopf, ist seitenverkehrt und kleiner als das Original. Akkommodation ist die Veränderung der Brennweite der Augenlinse, angepasst an den Abstand des Gegenstandes.

Bei den angeborenen Weit- und Kurzsichtigkeiten sind die Bildweiten zu lang bzw. zu kurz. Weitsichtigkeit wird mit einer Sammellinse, Kurzsichtigkeit mit einer Zerstreuungslinse korrigiert.

Beim Übergang von einem optisch dichteren Stoff in einen optisch dünneren Stoff wird Licht bei flachem Einfall an der Grenzfläche totalreflektiert. Du kannst technische Anwendungen wie den Lichtleiter oder den Regensensor mit der Totalreflexion erklären.

