



Unterrichtsmaterialien zum Thema Optische Phänomene (Auge)

Fachliche Grundlagen und Übersicht

(Version vom Oktober 2018)

Herausgegeben von:

SimplyScience Stiftung



Projektteam:

Angela Bonetti (PH ZH)

Dr. Eva Kölbach (PH ZH)

Kirsten Kallinna (PH ZH)

Dr. Julia Arnold (PH FHNW)

Prof. Dr. Susanne Metzger (PH ZH / PH FHNW)

PÄDAGOGISCHE
HOCHSCHULE
ZÜRICH

PH
ZH n|w

Fachhochschule Nordwestschweiz
Pädagogische Hochschule



Fachliche Grundlagen zu den optischen Phänomenen (Auge)

Das Auge

Von aussen sichtbare Teile der Augenpartie sind: Augenbraue, Augenlid mit Wimpern, Hornhaut, Bindehaut, Iris und Pupille. Über dem Auge, nicht sichtbar von aussen, liegen zur Aussenseite hin die Tränenrüden, welche die Tränenflüssigkeit produzieren. Die Flüssigkeit kommt also von oben auf das Auge und fliesst Richtung Nase ab. Wir besitzen an dem Punkt, wo unsere Augen am Nächsten beieinander sind, eine Verbindung zwischen Nase und Auge. Wenn viel Tränenflüssigkeit ausgeschüttet wird, fliesst diese durch den Kanal in die Nase. Dies ist auch der Grund, weshalb uns die Nase läuft, wenn wir weinen. Die Flüssigkeit funktioniert als Schutzmechanismus, da sie reizende/schädliche Stoffe aus unserem Auge spült, z. B. wenn wir eine Zwiebel schneiden. In diesem Falle wird viel Flüssigkeit ausgeschüttet, welche dann die Stoffe davonschwemmt. Es wird sonst, über den Tag verteilt, immer etwas von der Flüssigkeit abgegeben, welche durch den Lidschluss unser Auge benetzt und somit einen Schutzfilm über der Binde- und Hornhaut bildet. Geschützt werden die Augen aber auch durch das Lid mit den Wimpern, welche sich bei schnellen Bewegungen o. Ä. reflexartig schliessen, um ein Eindringen von Fremdkörpern zu verhindern. Die Augen liegen in den Augenhöhlen, eingebettet in Fettkissen, welche Erschütterungen dämpfen. In Abbildung 1 ist das Auge mit Lederhaut bzw. Bindehaut, Pupille und Iris abgebildet.

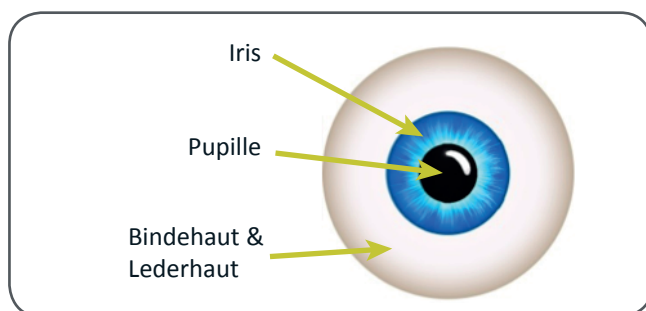


Abbildung 1: Auge mit Lederhaut und Bindehaut, Iris und Pupille. ©Can Stock Photo Inc. / tuulijumala

Das Weisse ist die Lederhaut, welche mit einer Bindehaut überzogen ist. Die Bindehaut ist normalerweise durchsichtig, kann sich aber entzünden und rot werden (z. B. Allergien, Schneeblindheit, etc.). Die Lederhaut gibt dem Auge Struktur, sie ist stabil und fest. Vor der Pupille wird die weisse Lederhaut zur durchsichti-

gen Hornhaut und schützt die Öffnung des Auges, welche durch die Pupille entsteht.

Die Iris ist der farbige Teil des Auges. Diese wird in der Mitte durch die runde, schwarze Pupille begrenzt. Das Schwarze ist jedoch kein schwarzer Fleck, sondern die Öffnung zum Inneren des Auges. Schwarz ist sie nur deshalb, weil kein Licht von innen nach aussen kommt, es ist also, als ob man in ein dunkles Loch schauen würde. Die Grösse der Pupille ist abhängig von der Stärke der einfallenden Lichtstrahlen. Sie vergrössert sich bei schwacher Beleuchtung und verkleinert sich bei hellem Licht durch bestimmte Bewegungen der in der Iris verlaufenden Muskeln. Diese Pupillenvergrösserung oder -verkleinerung ist ein Reflex, der ausgelöst wird, um die Menge an einfallendem Licht möglichst konstant zu halten. Je nach Lichteinfall kann der Durchmesser der Pupille unter Extremzuständen etwa zwischen 2 und 8 mm variieren. Die Adaption vom Dunkeln ins Helle geschieht sehr schnell und nimmt nur etwa 0.2 bis 0.5 s in Anspruch. In die andere Richtung läuft der Prozess viel langsamer ab: Die Zellen im Augeninneren brauchen im Extremfall bis zu einer Stunde für die maximale Anpassung an die Dunkelheit. Im Durchschnitt genügen jedoch schon ca. 10 s des Abdunkelns, um einen Effekt bei der Pupille zu sehen. Die Reaktion eines Auges wird jeweils automatisch auf das andere Auge übertragen. Sprich, beide Pupillen sind meist gleich gross. Falls dies bei einem Kind nicht der Fall sein sollte, wird ein Besuch beim Augenarzt empfohlen.

Nochmals zurück zur Iris: Diese besitzt eine Farbe, wie z. B. grau, grün, braun oder blau. Durch diese Pigmentierung wird das Licht gedämpft und sie verhindert, dass Lichtstrahlen seitlich durch die Pupille ins Augeninnere fallen und unser Sehen unscharf resp. undeutlich machen. Es ist also durch die Tönung eine Art Sonnenbrille gegen die seitlichen Lichtstrahlen.

Das Auge besitzt im Innern weitere Teile, welche von aussen nicht sichtbar sind (siehe Abbildung 2). So liegt hinter der Öffnung (Pupille) eine Linse. Diese ist mittels Fasern an einem Muskelring aufgehängt, welcher hinter der Iris liegt. Je nachdem, wohin wir schauen, kann unser Auge so die Dicke der Linse anpassen. Wenn wir in die Ferne schauen möchten, wird die Linse flach; wenn wir in die Nähe blicken, wird die Linse dick. Diesen Prozess nennen wir Akkommodation.

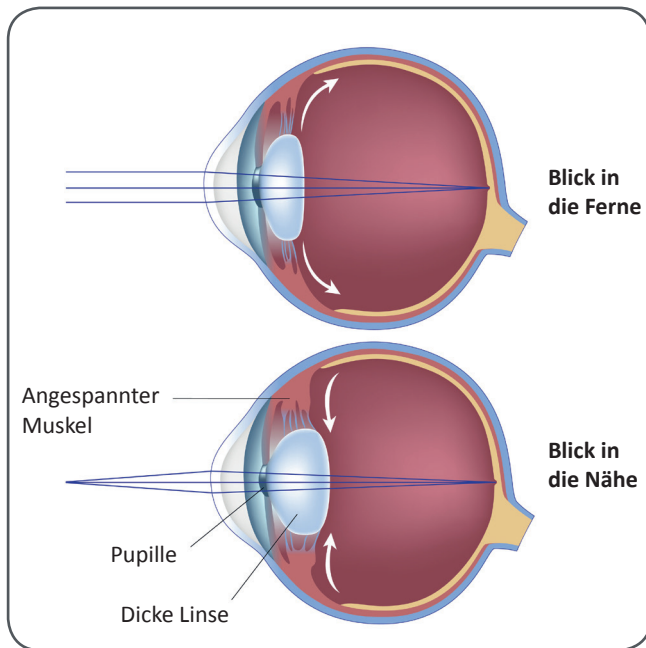


Abbildung 2: Akkomodation des Auges.
©Can Stock Photo Inc. / alila

Die Linse ist zusammen mit der Pupille auch dafür verantwortlich, dass die Abbildung, welche wir am Schluss auf der Netzhaut haben, umgekehrt ist. Eine genauere Erklärung dieses Phänomens ist im Abschnitt „Lupen und Linsen“ zu finden.

Im Innern des Auges (Abbildung 3) befindet sich ein Gel-artiger, durchsichtiger Kern, welcher das gesamte Volumen zwischen der Linse und der Netzhaut einnimmt. Der so genannte Glaskörper ist die nächste Struktur, welche hinter der Linse liegt. Der Glaskörper besteht zum grössten Teil aus Wasser und zu wenigen Prozentteilen aus Eiweissen. Mit zunehmendem Alter können sich aus solchen Eiweissen grössere (nun sichtbare) Strukturen im Glaskörper ansammeln und zu so genannten „Mouches volantes“ führen. Dies sind kleine, harmlose, meist schwebende optische Erscheinungen, welche besonders bei der Betrachtung einer hellen Fläche auffallen (z. B. beim Lesen oder dem Blick in

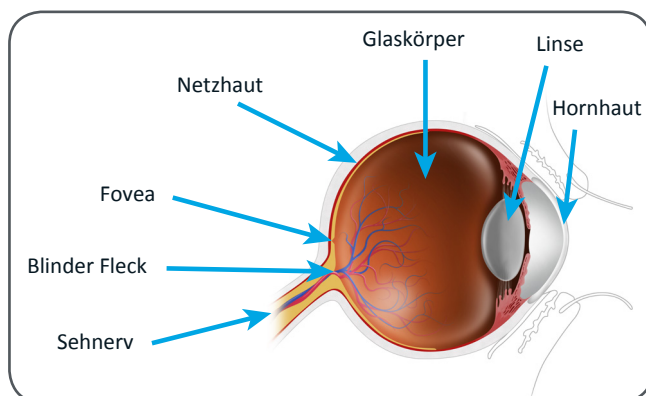


Abbildung 3: Innerer Aufbau des Auges.
©Can Stock Photo Inc. / kocakayaali

den Schnee oder den Himmel).

Die nächste Struktur im Auge ist die Netzhaut. Hier treffen die Lichtstrahlen auf sensorische Zellen, welche die Information über den Sehnerv an unser Gehirn weiterleiten. Wir Menschen besitzen zwei unterschiedliche Typen von Sinneszellen im Auge: die Stäbchen und die Zapfen.

Stäbchen sind für das Sehen bei knappen Lichtverhältnissen zuständig. Mit ihnen können wir in der Dämmerung sehen. Sie brauchen nicht viel Licht, um angeregt zu werden. Jedoch besitzen wir von diesem Zelltypen nur eine Art. Deswegen sehen wir in der Dämmerung auch keine Farben, sondern können nur Licht sehen. In der Nacht erscheint uns somit vieles grau. Die Zapfen hingegen benötigen mehr Licht um aktiviert zu werden. Sie sind z. B. bei Sonnenschein oder künstlichem Licht aktiv. Von diesen Zellen besitzen wir drei Arten, welche auf unterschiedliche Lichtfrequenzen reagieren. Wir besitzen Zellen, welche sensitiv auf blaues, rotes oder grünes Licht sind. Alle Farben, welche wir sehen können, nehmen wir somit aus einer Mischung dieser drei Farben wahr.

Die Fovea ist ein Abschnitt auf der Netzhaut, gerade gegenüber der Pupille, welcher ausschliesslich Zapfen enthält. Dort sehen wir am schärfsten und am Tag am besten, weil die Lichtstrahlen durch die Linse genau auf diesen Punkt gebündelt werden. Etwas tiefer liegt der Blinde Fleck. Man sieht dort nichts, da dort keine Sinneszellen liegen, sondern die Blutversorgung und der Sehnerv aus dem Auge austreten. Über die restliche Netzhaut verteilt liegen sowohl Zapfen als auch Stäbchen, die Dichte der Zapfen nimmt vom Zentrum (Fovea) zur Peripherie ab, hingegen nimmt die Dichte der Stäbchen stark zu. Deshalb sehen wir in der Nacht nicht so scharf, wie am Tag.

Hinter der Netzhaut folgt die Pigmentschicht, welche die Lichtreflexionen in unserem Auge vermindert. Nach der Pigmentschicht folgt die Aderhaut, welche die Strukturen des Auges mit Nährstoffen versorgt und Abfallstoffe ausführt. Als äusserste Struktur schliesst die Lederhaut den Augapfel wieder ab.

Damit wir etwas sehen können, muss Licht in unser Auge gelangen. Gegenstände sehen wir deshalb, weil sie von einer Lichtquelle beschienen werden, dieses Licht an den Gegenständen reflektiert wird und ein Teil davon in unser Auge gelangt. Wenn es völlig dunkel ist, also gar kein Licht vorhanden ist, welches irgendwo reflektiert wird und in unser Auge gelangen kann, sehen wir nichts.



Licht und Lichtstrahlenmodell

Licht breitet sich geradlinig in alle Richtungen des Raums aus. Erst, wenn ein Hindernis, z. B. ein Gegenstand, im Weg des Lichts ist, kann es abgelenkt oder reflektiert werden. Zur besseren Darstellung dieser Phänomene wird das Licht als Lichtstrahl oder als Lichtbündel gezeichnet. Diese Modelldarstellung des Lichts nennt man Lichtstrahlenmodell resp. Lichtbündelmodell. Während beim Lichtstrahlenmodell jeweils nur einzelne ausgewählte Strahlen des Lichts gezeichnet werden, wird beim Lichtbündelmodell ein Lichtbündel dargestellt – jeweils begrenzt durch zwei Lichtstrahlen. Zum Beispiel kann mit Hilfe von einzelnen Lichtstrahlen die Grösse eines Schattens auf einer Skizze ermittelt werden. Dabei wird jeweils nur der äusserste Lichtstrahl (gelb) eingezeichnet, welcher gerade noch am Gegenstand (orange) vorbei kommt. So wird deutlich, wo es im Raum dunkel ist (grau) und wo der Schatten an der Wand (schwarz) sichtbar ist. Mit Hilfe dieser Skizze kann auch der Zusammenhang zwischen der Grösse des Schattens an der Wand und dem Abstand des Gegenstands von der Wand gezeigt werden (Abbildung 4).

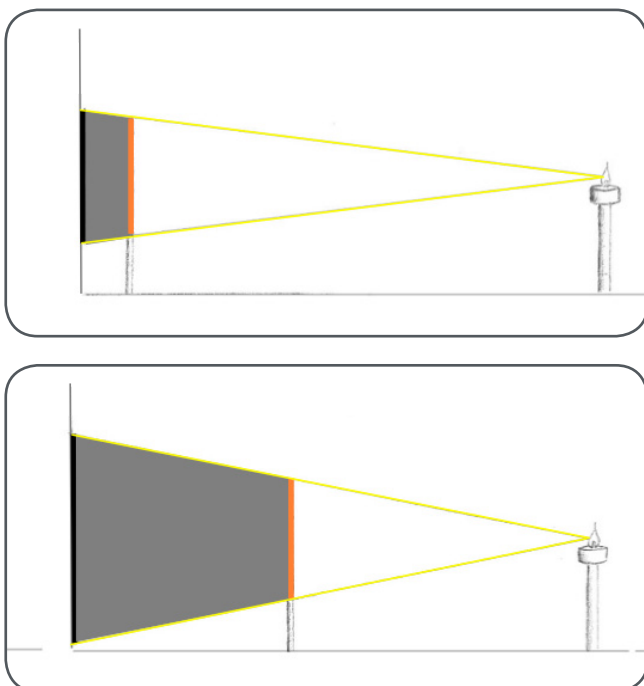


Abbildung 4: Lichtbündelmodelle. A) Kleiner Abstand des Gegenstands zur Wand, kleiner Schatten B) Grosser Abstand des Gegenstands zur Wand, grosser Schatten.

Lochkamera als Augenmodell

Die Lochkamera stellt ein sehr einfaches Modell für ein Auge dar (siehe Abbildung 5).

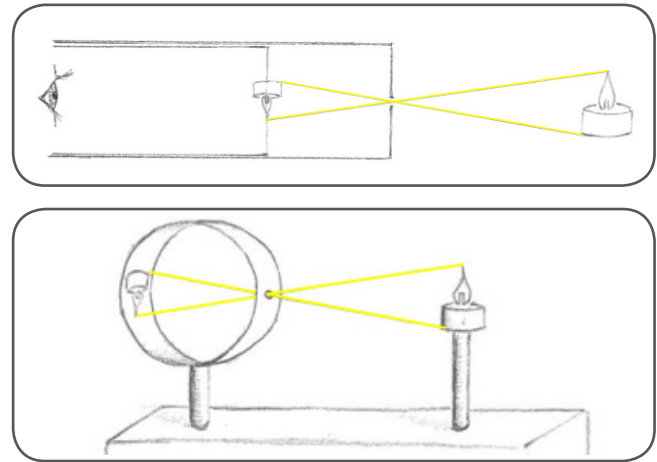


Abbildung 5: Lochkameramodelle.

Wie beim Auge wird auch bei der Lochkamera das Bild umgekehrt: oben – unten und rechts – links. Das Bild bleibt bei allen Abständen zwischen Loch und Fenster (Transparentpapier in der Lochkamera) ungefähr gleich scharf. Aber bei grösserem Abstand wird das Bild grösser und dunkler, dadurch scheint es unschärfer. Warum wird das Bild umgekehrt, obwohl die Lochkamera keine Linse hat? Dies wird in der Skizze sichtbar: Das Loch ist so klein, dass vom Licht von der Spitze der Kerzenflamme nur ein einziger Strahl auf den Schirm trifft. Da sich das Licht gerade ausbreitet, ist alles, was in Wirklichkeit über dem Loch ist, auf dem Schirm unten und umgekehrt. Das Loch in der Lochkamera übernimmt also die Funktion von Pupille und Linse. Das Fenster aus Transparentpapier entspricht der Netzhaut, dort wird das Bild abgebildet. Die Kammer zwischen Loch und Fenster entspricht dem Augapfel.

Das Prinzip der Lochkamera wurde früher auch für möglichst originalgetreue Abbildungen von Malern verwendet („Camera Obscura“).

Reflexion am Spiegel

Fällt Licht auf einen Spiegel, so wird dieses Licht am Spiegel reflektiert. Dabei gilt, dass der Einfallswinkel gleich dem Ausfallswinkel ist. Der Ausfallswinkel wird auch Reflexionswinkel genannt. Durch Spiegel können Lichtstrahlen mit Hilfe der Reflexion beliebig gelenkt werden, je nachdem, wie man einen Spiegel ausrichtet. Wenn ein Lichtstrahl genau senkrecht auf einen Spiegel trifft, wird er in sich selbst reflektiert und der Lichtstrahl wird umgekehrt. Wenn man sich zum Beispiel mit einer Stirnlampe genau parallel zu einem Spiegel stellt, so dass der Lichtstrahl im rechten Winkel auf den Spiegel trifft, wird man von der eigenen Stirnlampe geblendet, da der Lichtstrahl zurück geworfen



wird.

Die Abbildung durch einen ebenen Spiegel ist spiegelverkehrt, das heisst beim Spiegelbild ist vorne und hinten vertauscht (siehe Abbildung 6): Beim Original sieht man auf der senkrechten Fläche des Würfels parallel zum Spiegel die Eins und im Spiegelbild sieht man die Rückseite des Würfels, also die Sechs. Beim Original zeigt die flache Seite zum Betrachter, beim Spiegelbild die Spitze. Häufig hilft es, wenn in solche Skizzen ein Auge als Betrachter eingezeichnet wird. Dann kann man immer fragen: Was sieht das Auge im Original (die Eins) und was sieht das Auge im Spiegelbild (die Sechs).

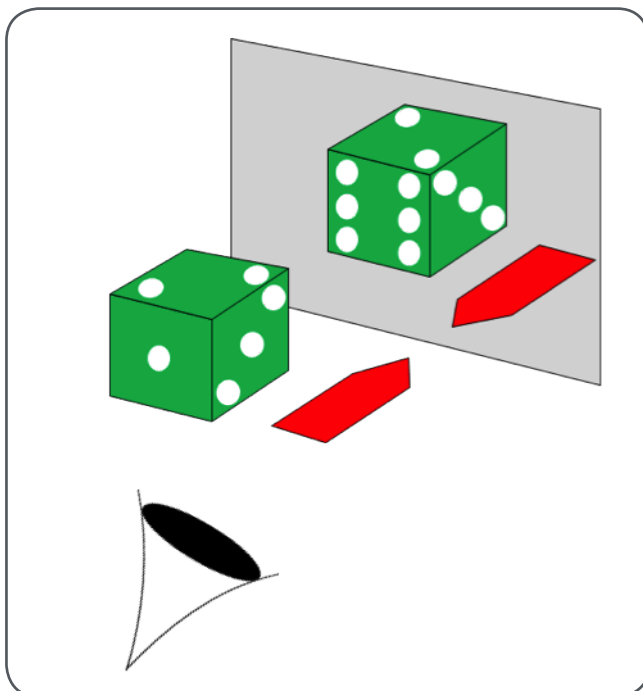


Abbildung 6: Reflexion am Spiegel.

Die häufig gebrauchte Beschreibung „Ein Spiegel vertauscht rechts und links“ ist also falsch! Denn dann müsste man im Spiegelbild statt der Drei die Vier auf dem Würfel sehen. Würde ein Spiegel rechts und links vertauschen, müsste der gleiche Spiegel oben und unten vertauschen, wenn man ihn um 90° drehen würde. Dies tut er nachweislich nicht. Die Vorstellung, ein Spiegel vertausche links und rechts, kommt daher, dass der Mensch im Wesentlichen längsachsensymmetrisch ist. Das heisst, wenn jemand mit der rechten Hand in den Spiegel winkt, sieht das Spiegelbild so aus, als würde die linke Hand winken. In Wirklichkeit ist es aber auch im Spiegelbild die rechte Hand, die winkt.

Das Reflexionsgesetz gilt nicht nur für ebene, sondern auch für gekrümmte Spiegelflächen. Das Lot (senkrecht zur Spiegelfläche) hat dann allerdings für jeden Punkt

auf dem Spiegel eine andere Richtung. Generell unterscheidet man in Hohl- und Wölbspiegel. Hohlspiegel (konkave Spiegel) sind nach innen gewölbt. Man kann sie verwenden, um Lichtstrahlen in einem Punkt (dem Brennpunkt) zu sammeln. Je nachdem, wie nah sich ein Gegenstand am Hohlspiegel befindet, sieht man ihn aufrecht und vergrössert (zwischen Brennpunkt und Spiegel) oder auf dem Kopf. Wölbspiegel (konvexe Spiegel) sind nach aussen gewölbt. Die Abbildung eines Gegenstandes sieht man dort immer aufrecht und kleiner. Dieses Phänomen wird häufig bei Spiegeln in Bekleidungsgeschäften ausgenutzt: Es werden Spiegel verwendet, die leicht nach aussen gewölbt sind, so dass man das Gefühl hat, schlanker zu sein. Eine einfache Veranschaulichung der Phänomene Hohl- und Wölbspiegel bietet ein Esslöffel: Schaut man sich auf der nach aussen gewölbten Seite an, so sieht man sich stets aufrecht und verkleinert. Schaut man sich auf der nach innen gewölbten Seite an, so sieht man sich auf dem Kopf und verkleinert. Nähert man den Löffel mit dieser Seite dem Auge, so wird das Bild immer grösser, bis es zuerst verschwimmt und schliesslich aufrecht und vergrössert erscheint (erst wenn der Löffel ganz nah am Auge ist).

Lupen und Linsen

Eine Lupe ist eine spezielle Linse, die bewirkt, dass ein betrachteter Gegenstand grösser erscheint – wenn die Lupe im richtigen Abstand gehalten wird. Allgemein sind optische Linsen lichtdurchlässige Körper, welche gekrümmte Flächen aufweisen. Wie bei Spiegeln wird auch bei Linsen zwischen konvexen (nach aussen gewölbten) und konkaven (nach innen gewölbten) Linsen unterschieden. Während Konvexlinsen das Licht sammeln, streuen Konkavlinsen es. Deshalb werden sie auch Sammellinse- resp. Streulinse genannt. Beispiele für Konvexlinsen sind Lupen, ein mit Wasser gefülltes rundes Glas, unsere Augenlinse oder eine Brille gegen Weitsichtigkeit. Konkavlinsen werden z. B. zur Korrektur von Kurzsichtigkeit eingesetzt. Während Konkavlinsen immer ein virtuelles, aufrechtes und verkleinertes Bild erzeugen, können die Abbildungen von Konvexlinsen verkleinert oder vergrössert, umgekehrt oder aufrecht, reell oder virtuell sein. Die Beispiele in der Abbildung 7 sollen dies veranschaulichen:

Links: Damit ein Text vergrössert erscheint, muss die Lupe (blaue Linse) so gehalten werden, dass sich der originale Text (oranger Pfeil) zwischen der Lupe und deren Brennpunkt (blauer Punkt) befindet. Der Brennpunkt ist der Punkt, durch den alle Lichtstrahlen laufen, die parallel auf die Linse treffen. Durch die Bre-

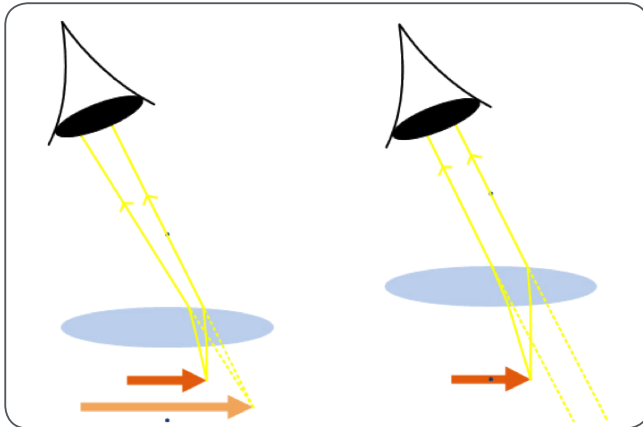


Abbildung 7

chung wird das Licht in der Linse abgelenkt. Das Hirn verlängert die in das Auge treffenden Lichtstrahlen geradlinig. So entsteht ein virtuelles, vergrößertes Bild (blausoranger Pfeil). Wir sehen den vergrößerten Text, als ob dieser hinter der Lupe wäre. Das Bild steht aufrecht, wie das Original.

Rechts: Wenn das Objekt (z. B. ein Text) sich genau im Brennpunkt einer Linse befindet, kann kein scharfes Bild entstehen (weder vergrößert, verkleinert, aufrecht, reell oder virtuell), da die von einem Punkt des Objekts (Pfeilspitze) ausgehenden Lichtstrahlen nach dem Durchgang durch die Linse parallel zueinander verlaufen und sich weder vor noch hinter der Linse in einem Punkt treffen. Bei dieser Distanz sehen wir auf allen Ebenen verschwommen.

Durch das Aneinanderreihen von mehreren Linsen können je nach Abständen zwischen den Linsen und zwischen Linsen und Objekten unterschiedliche Effekte realisiert werden. So kann z. B. durch einen entsprechenden Aufbau von zwei Sammellinsen die vergrößernde Wirkung noch weiter verstärkt werden. Dieser Effekt wird beispielsweise bei Mikroskopen oder Fernrohren genutzt.

Vergleich von Licht und Schall

Sowohl Licht als auch Schall breiten sich als Welle aus. Allerdings unterscheidet sich die Ausbreitungsart. Licht ist eine so genannte Transversalwelle, das heisst die Teilchen schwingen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung. Beispielsweise ist die Wasserwelle eine Transversalwelle: Auch wenn es scheint, als würde sich das Wasser mit der Welle weiterbewegen, bleiben die Wasserteilchen immer am gleichen Ort und bewegen sich nur auf und ab. Ein weiteres Beispiel für eine Transversalwelle ist eine Laola-Welle im Sportstadion: Während die Menschen auf ihren Plätzen bleiben und sich nur auf und ab bewegen, bewegt sich die Laola-Welle durch das Stadion. Schall dagegen ist eine so genannte Longitudinalwelle, das heisst die Teilchen schwingen in Ausbreitungsrichtung hin und her. Bei der Ausbreitung von Schall in der Luft zum Beispiel wechseln sich dadurch Luftverdichtungen und Luftverdünnungen ab. Ebenso wie Licht an einem Spiegel reflektiert wird, wird Schall an glatten Oberflächen reflektiert. Auch hier ist der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel. Bei gewellten Oberflächen entstehen – ebenso wie beim Licht an rauen Oberflächen – kleinere Unterschiede in der Richtung der Reflexion und das „Tonbild“ wird unscharf resp. zerstreut. Beim Echo hören wir nicht gleichzeitig zum Gesprochenen eine Verstärkung, sondern wir hören eine verspätete Wiederholung unserer Stimme. Zwischen dem Sprechen und dem Hören liegt ein zeitlicher Abstand. Dies liegt daran, dass der Schall sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit in der Luft oder in anderen Stoffen ausbreitet und entsprechend nach der Reflexion mit einer gewissen Verzögerung zu unserem Ohr zurückkommt. In der Luft bei 20 °C beträgt diese Geschwindigkeit 343 m/s. In festen Materialien, wie z. B. Eisen und Stahl ist diese Geschwindigkeit viel schneller (z. B. Eisen 5'170 m/s, Stahl 5'920 m/s). Auch Wasser transportiert den Schall schneller (1'480 m/s) als die Luft.



Übersicht über die Inhalte, Experimente und Modelle

Inhalt	Experiment/Modell	Kurzbeschreibung
Schattenspiele	<ul style="list-style-type: none">Schattenspiele	<ul style="list-style-type: none">Entstehung von grossen und kleinen / scharfen und unscharfen Schatten erprobenModell des Lichtstrahls
Reflexion von Licht und Schall	<ul style="list-style-type: none">Beim Coiffeur / SpiegelungenWinkelabhängigkeiten bei SpiegelungenLichtreflexionenSchallreflexion	<ul style="list-style-type: none">gespiegelter TextWinkelabhängigkeiten bei der ReflexionLichtstrahlenmodell
Das Auge von aussen betrachtet		<ul style="list-style-type: none">Skizze und Bezeichnung der Teile des eigenen äusseren Auges
Schutzmechanismen	<ul style="list-style-type: none">Lidschlagreflex	<ul style="list-style-type: none">Schutzmechanismen des Auges
Hell / Dunkel – die Pupille	<ul style="list-style-type: none">die Pupillenreaktion Verändertes Sehen im Dunklen und im Hellen	<ul style="list-style-type: none">Anpassung unseres Sehens an Helligkeit oder Dunkelheit dauert unterschiedlich langGrosse Pupille im Dunkeln / kleine Pupille im HellenFarbig sehen im Hellen / Graustufen sehen im Dunklen
Teile des Auges	<ul style="list-style-type: none">Augenmodell Lochkamera	<ul style="list-style-type: none">Teile des Auges am ModellAbbildung in unserem AugeVereinfachtes Augenmodell
Augenmodelle		<ul style="list-style-type: none">Film zum Bau von zwei Augenmodellen und einer Lochkamera
Von Lupen und Linsen	<ul style="list-style-type: none">Posten 1: WassergefässePosten 2: WassertropfenPosten 3: Von der Lupe zum TeleskopPosten 4: Lupen einmal anders	<ul style="list-style-type: none">Abbildungen mit unterschiedlichen Formen von WassergefässenEntstehung einer Lupe aus einem WassertropfenAneinanderreihung von Lupen zu einem TeleskopUmgekehrte Abbildungen mit einer Lupe
Tieraugen	<ul style="list-style-type: none">Was sehen verschiedene Tiere? (Arbeit am Modell)	<ul style="list-style-type: none">Pupillenform unterschiedlicher Tiere (Recherche)Sehfelder verschiedener Tiere