





# Optik für die Sekundarstufe I

Autoren:

C. Haagen-Schützenhöfer

I. Fehringer

J. Rottensteiner

Mit Unterstützung von J. Pürmayr

AECC Physik, Universität Wien

FDZ Physik, Universität Graz

Aktuelle Version Jänner 2017

## Eine Kerze, ein Glastisch und zwei verschiedene Fotos!?



Abb. 1: Fotografie mit Blitz



Abb. 2: Fotografie ohne Blitz

Zuerst wollen wir dir einen kleinen Vorgeschmack geben, warum es in der **OPTIK** überhaupt geht. Wir fangen mit einem Bild an, das ganz normale Alltagsgegenstände zeigt. Bei genauerer Betrachtung kannst du allerdings eine Reihe von optischen Phänomenen sehen, die du mit diesem Heft genauer erkunden wirst.

Das Foto eines Gegenstandes hängt sehr davon ab, ob es bei Tageslicht, bei Kerzenlicht, mit oder ohne Blitz fotografiert wird (siehe Abb. 1 u. 2). Im linken Bild wurde die Kerze mit Blitzlicht fotografiert, im rechten wurde sie nur durch die Kerzenflamme und eine Deckenlampe beleuchtet. Einmal sieht die Kerze ganz weiß aus, bei der zweiten Fotografie wirkt sie gelblich. Die „Farbe eines Gegenstandes“ ist also auch abhängig vom Licht, mit dem er bestrahlt wird.

Innerhalb der Physik befasst sich der Bereich der **Optik** mit dem Sehvorgang und der Ausbreitung von Licht und alle Phänomene, die damit zu tun haben. Damit wir einen Gegenstand sehen können, müssen wir erst Licht von diesem Gegenstand empfangen. Das **Licht** ist sozusagen der **Informationsträger** für unseren Sehsinn. Der Gegenstand kann dabei selber leuchten, oder als Zwischensender empfangenes Licht weitergeben. Aber später dazu mehr ...

Du kannst noch andere Unterschiede am Foto bemerken: Am linken Foto kannst du Staubteilchen auf dem Glastisch erkennen. Erst durch den Blitz wurden sie stark genug beleuchtet, um im Vergleich zum Hintergrund für uns sichtbar zu werden. (Ähnlich funktioniert das auch bei Gesichtsfotos mit Pickeln und Falten ☺). Mit den **Gesetzen der Optik** kannst du auch erklären, warum du einerseits durch die Glasplatte durchsehen kannst, die Kerze sich aber auch gleichzeitig in der Glasplatte spiegelt. Licht folgt gewissen Regeln, wenn es sich ausbreitet.

## I. Unser Auge – Ein Lichtempfänger

Im ersten Kapitel wollen wir nun herausfinden, wie und **warum wir Gegenstände überhaupt sehen können**. Der Sehsinn ist der wichtigste Sinn für uns Menschen. Mehr als 80% der Information über unsere Umwelt nehmen wir durch die Augen auf.

Wichtig ist:

***Damit wir einen Gegenstand sehen können, muss Licht von diesem Gegenstand in unser Auge gelangen. – VON NIX KOMMT NIX. – Das Auge ist also ein Lichtempfänger.***



Abb. 1: Ein Kopffüßer

Das Auge eines Kopffüßers hat die einfachste Augenform. Du siehst einen Kopffüßer am Bild oben (Abb. 1<sup>i</sup>). Sein Auge besteht hauptsächlich aus **Pupille** und **Netzhaut**. Die Augenform ist eher eckig (siehe Abb. 2a)

In der Natur gibt es jedoch unterschiedliche Augenformen, die aber eine Gemeinsamkeit haben:

***Gegenstände werden gesehen, wenn von ihnen ein Bild auf der Netzhaut entsteht.***

In Abb. 2<sup>ii</sup> sind das Auge eines Kopffüßers und das menschliche Auge dargestellt. Beide Augen haben einen Lichteinlass (Pupille) und eine Fläche, auf der das Bild entsteht (Netzhaut).

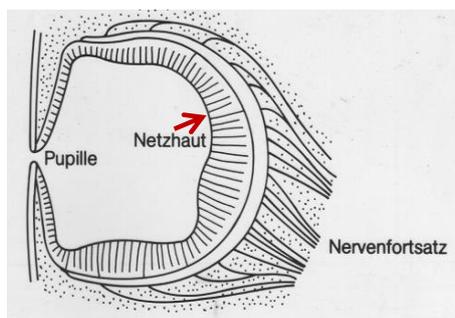


Abb. 2a: Schematische Darstellung eines Kopffüßerauges.

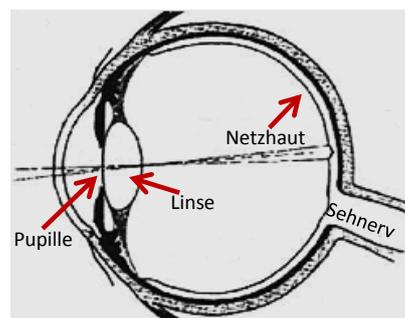


Abb. 2b: Schematische Darstellung eines Menschauges.

Das Bild, das auf der **Netzhaut** entsteht, wird von **Sehzellen** erfasst. Die Bildinformation wird dann durch den **Sehnerv** in das **Gehirn** weitergeleitet. Dort wird diese Information verarbeitet und im Gehirn entsteht der Seheindruck.

Im Menschaugen verursacht die Augenlinse ein umgekehrtes Bild auf der Netzhaut. Dieses Bild, das am Kopf steht, wird erst vom Gehirn „umgedreht“. Daher sehen wir alles aufrecht.

### Aufgaben:

- Kannst du den Lichteinlass in Abb. 1 erkennen?
- Für zu Hause: Schlage in deinem Biologiebuch nach und lies den Text zum Auge. Mach dir Notizen über die wichtigsten Punkte zur Funktionsweise des Auges.

Wir wollen nun ein **Modell eines Kopffüßer-Auges** ausprobieren. Dazu haben wir eine hohle Styroporkugel verwendet, die wir innen schwarz angemalt haben. Für den Lichteinlass, also die Pupille, haben wir ein kleines Loch in eine Kugelhälfte gemacht (Abb. 3).

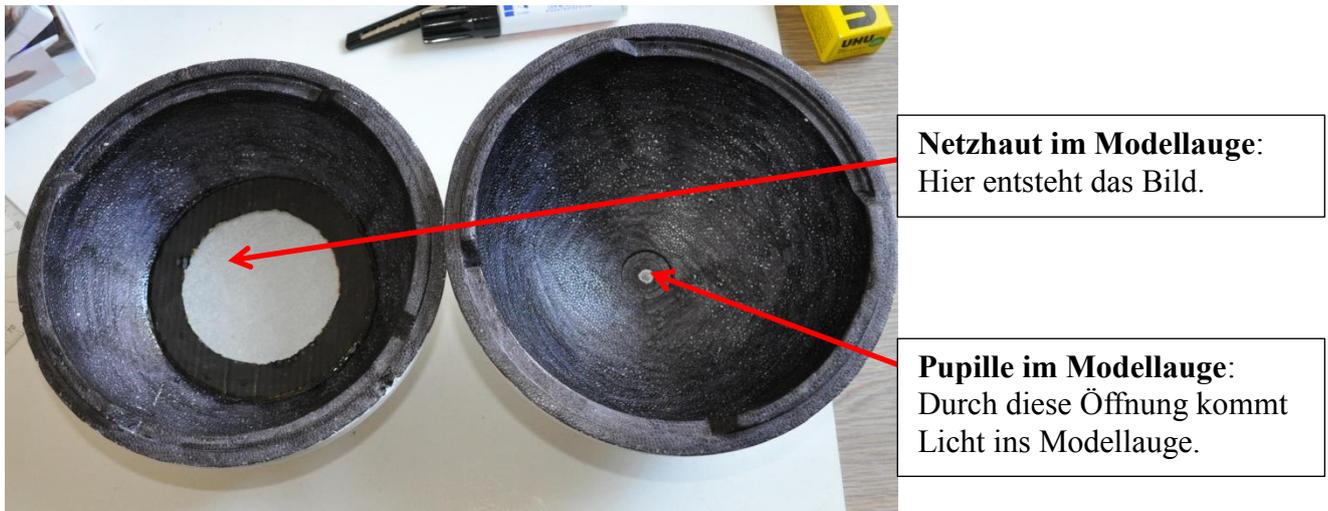


Abb. 3: Augenmodell eines Kopffüßers aus einer Styroporkugel: Die Innenansicht zeigt Netzhaut und Pupille.

Im Auge entsteht das Bild auf der Netzhaut. Wie die Bildentstehung genau funktioniert, werden wir später besprechen. Wir haben einen Kreis aus Transparentpapier als **Modell-Netzhaut** für unser **Augenmodell** verwendet. Transparentpapier hat den Vorteil, dass es durchscheinend ist. So kannst du das Bild, das im Inneren des Auges entsteht, auch von außen sehen (Abb. 4).

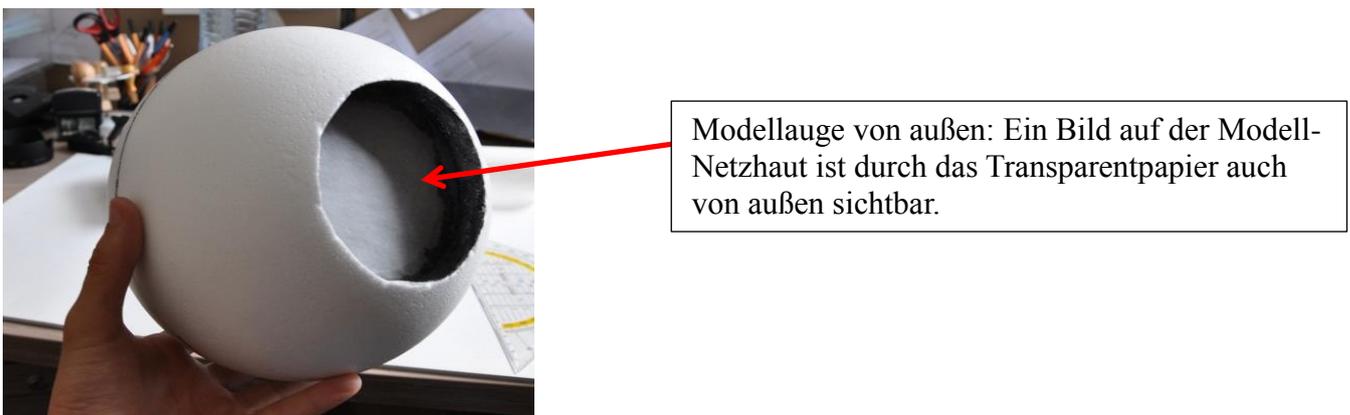


Abb. 4: Augenmodell eines Kopffüßers von außen. Das Transparentpapier entspricht der Netzhaut.

Das Modellauge bildet Leuchtobjekte gut auf der Modell-Netzhaut ab, wie du in Abb. 5 erkennen kannst. Dabei tut das Modell genau das Gleiche wie das Auge des Kopffüßers: Ein Teil der Lichtbündel von den kleinen Lämpchen (LEDs) geht durch das Loch (Pupille) und trifft auf das Transparentpapier (Netzhaut).

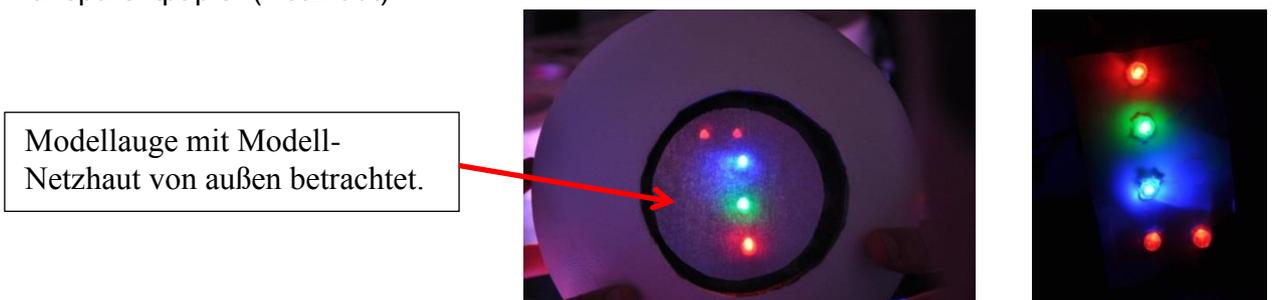


Abb. 5a: Das Modellauge bildet das Leuchtobjekt (Abb. 5b) auf der Modell-Netzhaut ab.

Abb. 5b: Leuchtobjekt

### Arbeitsauftrag 1:

In Abb. 2 (S. 4) wird das Auge eines Kopffüßers und eines Menschen verglichen.

- Welche Unterschiede fallen dir auf?
- Wie müsstest du unser einfaches Augenmodell erweitern, damit es ein noch besseres Modell für ein Menschenauge ist?

### Arbeitsauftrag 2:

Vergleiche die Anordnung der Lämpchen im Leuchtobjekt (S. 6, Abb. 5b) und ihre Abbildung auf der Modell-Netzhaut (S. 6, Abb. 5a).

- Was fällt dir auf?
- Wie sieht das Bild der Lämpchen auf der Innenseite der Modell-Netzhaut aus? Zeichne in das Foto rechts ein.
- Bildentstehung im Menschenauge: In welcher Form werden Gegenstände auf der menschlichen Netzhaut abgebildet? Wie nehmen wir sie wirklich wahr?
- Fertige eine Skizze an, die den Weg des Lichts vom Leuchtobjekt bis zum Modellauge (Lichtweg) darstellt.

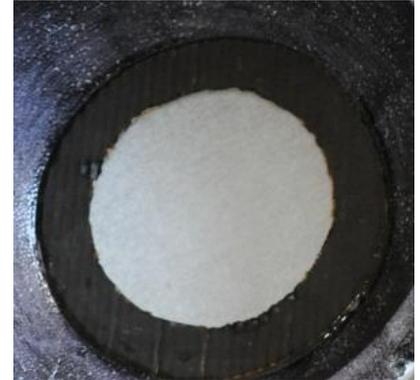


Abb. 6: Modell-Netzhaut Innenseite

### Arbeitsauftrag 3:

Führe eine Internetrecherche durch. Suche dazu jeweils mehrere Quellen im Internet. Mach dir auch über die Verlässlichkeit der Quellen Gedanken. Fasse deine Rechercheergebnisse auf einem Handout zusammen und vergiss nicht die Quellen entsprechend anzugeben. Recherchiere folgende Fragen:

- Wie funktioniert es, dass wir die Bilder von Gegenständen, die auf der Netzhaut am „Kopf stehen“, trotzdem aufrecht sehen?
- Ein Mensch setzt eine „Umkehrbrille“ auf. Die sorgt dafür, dass auf der Netzhaut keine umgekehrten Bilder entstehen. Funktioniert das grundsätzlich? Welche Auswirkungen kann das Tragen so einer „Umkehrbrille“ haben?
- Wie sehen neugeborene Babys, alles auf den Kopf gestellt, oder richtig herum?

Mit dem Augenmodell lässt sich gut zeigen, dass auf der (Modell)netzhaut (Abb. 5, S. 6) nur dann **Bilder** entstehen können, wenn **Licht von Gegenständen durch die Öffnung (Pupille) ins Augennere** kommt. Unser Auge ist also ein **LICHTEMPFÄNGER**. Aus diesem Grund können wir das Modellauge als ein **Nachweisgerät für Licht** einsetzen. Wir können damit überprüfen, ob überhaupt Licht von einem Gegenstand abgestrahlt wird. Ohne abgestrahltes Licht – kein Lichtempfang und kein Bild: **VON NIX KOMMT NIX**.

### Arbeitsauftrag 4: „Nachweisgerät für Lichtempfang“ – hast du eine Idee wie das gemeint ist?

Formuliere eine kurze „Gebrauchsanweisung“ für das Modellauge als Nachweisgerät für Lichtabstrahlung bzw. Lichtempfang.

Wie du schon in der Einleitung gelesen hast, geht es in diesem Kapitel darum, wie und warum wir Gegenstände sehen können. Wir wollen dazu weitere Untersuchungen machen. Als **Nachweisgerät für Lichtabstrahlung bzw. Lichtempfang** werden wir das oben erwähnte Augenmodell verwenden. So ein Augenmodell funktioniert wie eine einfache Kamera.

Unser Modellauge aus Styropor ist allerdings recht aufwändig zu bauen, daher verändern wir es ein wenig. Wie du beim Vergleich von Augen bei Menschen und Kopffüßern gesehen hast, spielt die Augenform keine Rolle. Statt einer Styroporkugel kann man für das Augenmodell daher auch eine Schachtel verwenden. Bei unserem Nachweisgerät wollen wir auch den Abstand zwischen Lichteinlass und Schirm (Netzhaut) ändern können. In der Bauanleitung auf den folgenden Seiten sind alle diese Punkte berücksichtigt.

Übrigens – so ein Modellauge oder **Lichtstrahlungs-Nachweis-Gerät** heißt auf physikalisch auch **Lochkamera** 😊.

## Wir bauen eine Lochkamera!<sup>iii</sup>

In den nächsten Abschnitten werden wir immer wieder mit der Lochkamera arbeiten. Hier findest du die Bauanleitung, wie du selber ganz leicht eine solche Lochkamera bauen kannst.

### Du benötigst:

- \*Chipsdose
- \*Schwarzes Naturpapier
- \*Klebeband
- \*Gummiringerl
- \*Transparentpapier
- \*Dünner Nagel
- \*Hammer
- \*Schere
- \*Klebstoff
- \*Dosenöffner



Abb. 1: Diese Dinge benötigst du!

### So gehst du vor:

1. Forme aus dem Fotokarton eine Rolle (Abb. 1). Der Durchmesser der Rolle muss ein wenig kleiner sein als der Durchmesser der Chipsdose. Verklebe die Kartonrolle seitlich gut mit Klebeband (Abb. 2).



Abb. 2: Bau des Auszugs



2. Eine Öffnung der Fotokartonrolle wird nun mit Transparentpapier verschlossen. Du kannst die Kartonrolle als Schablone für den Kreis aus Transparentpapier verwenden. Vergiss nicht die Laschen fürs Festkleben! (Abb. 3).

3. Befestige die Laschen des Transparentpapiers mit Klebstoff an der Kartonrolle (Abb. 4). Je glatter das Transparentpapier gespannt wird, umso besser sind später die Abbildungen zu erkennen.



Abb. 3: Befestigen des Transparentpapiers am Auszug

**ACHTUNG:** Antihafbeschichtetes Backpapier lässt sich aufgrund seiner extrem glatten Oberfläche relativ schwer befestigen. Transparentpapier ist hier geeigneter.



Abb. 4: Transparentpapier als Modell-Netzhaut

TIPP: Du kannst einen Gummiring (Abb. 5) zur Fixierung verwenden, bis der Klebstoff trocken ist und hält.

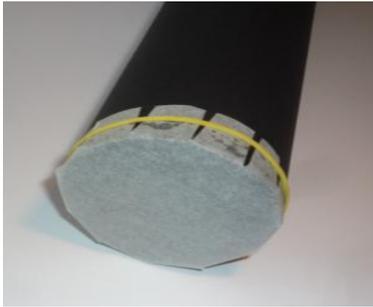


Abb. 5: Transparentpapier fixieren

4. Mach nun mit einem spitzen Gegenstand (z.B. einem Nagel oder einer Pinnwandnadel) ein Loch in den Metallboden der Dose (Abb. 6).



Abb. 6: Lichteinlass (Pupille)

**Fertig!**

ALTERNATIV: Für eine Lochkamera mit Wechselobjektiv musst du den 4. Schritt so abändern:

4.a. Entferne mit einem Dosenöffner den Metallboden der Chipsdose (Abb. 7).

4.b. Schneide ein Loch in den Plastikdeckel. Verklebe den Plastikdeckel der Chipsdose auf der Innenseite mit einer schwarzen Fotokartonscheibe. Am besten eignen sich hierfür wiederablösbare Doppelklebestreifen (Abb. 8). So kannst du leicht Fotokartonscheiben mit anderen Lochformen oder Linsen als Blende einwechseln (Abb. 9).



Abb. 7: Entfernung des Deckels



Abb. 8: Öffnung für Linse



Abb. 9: Wechselobjektiv

## II. Das Sehen selbstleuchtender Gegenstände

Wann kannst du Gegenstände sehen, die selbst Licht erzeugen? – Dieser Frage werden wir zuerst nachgehen.

Ein **SELBST-leuchtender Gegenstand** strahlt **Licht in alle Richtungen** ab. Gelangt ein Teil dieses Lichtes in dein Auge, dann entsteht ein Bild des Gegenstandes auf der Netzhaut (Abb.1).

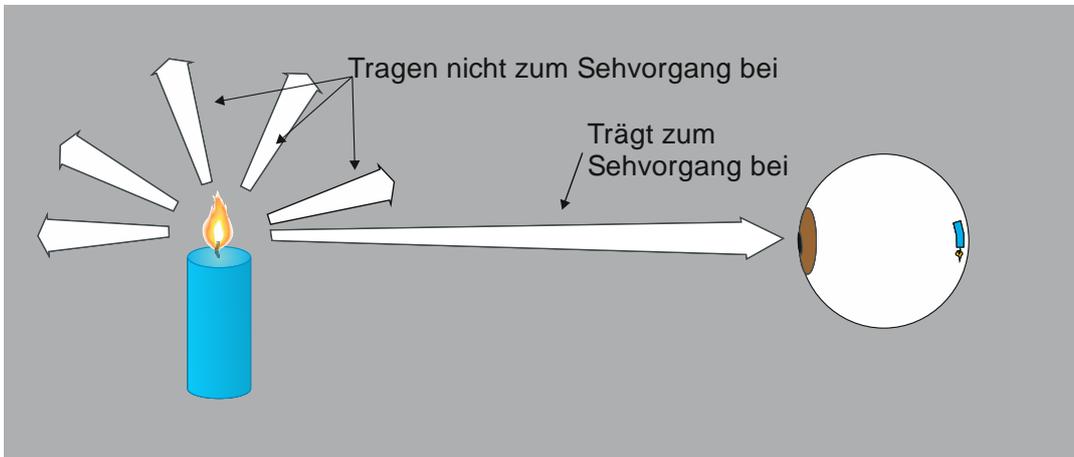


Abb. 1: Eine Kerzenflamme strahlt Licht in alle Richtungen ab. Ein Teil des Lichtes fällt in das Auge.

Nun kannst du bestimmt folgende Fragen leicht beantworten:

- Warum kannst du eine Kerzenflamme nicht sehen, wenn du dich von ihr wendrehst?
- Warum wird das abgestrahlte Licht (in Abb. 1) mit Pfeilen dargestellt, die vorne breiter werden?

### **Die Lochkamera – Augenmodell und Lichtempfänger**

Im nächsten Schritt wirst du mit der Lochkamera den **Sehvorgang** nachstellen.

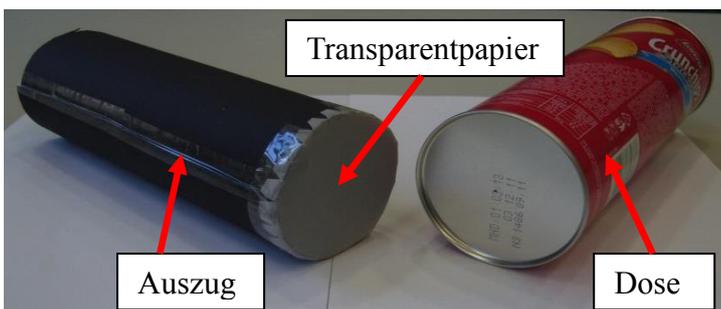


Abb. 2: Die Teile einer Lochkamera: Rechts siehst du die Dose mit Loch, die wir nun statt der Styroporkugel verwenden. Links siehst du den Auszug mit Schirm aus Transparentpapier, das nun wieder als „Netzhaut“ fungiert.

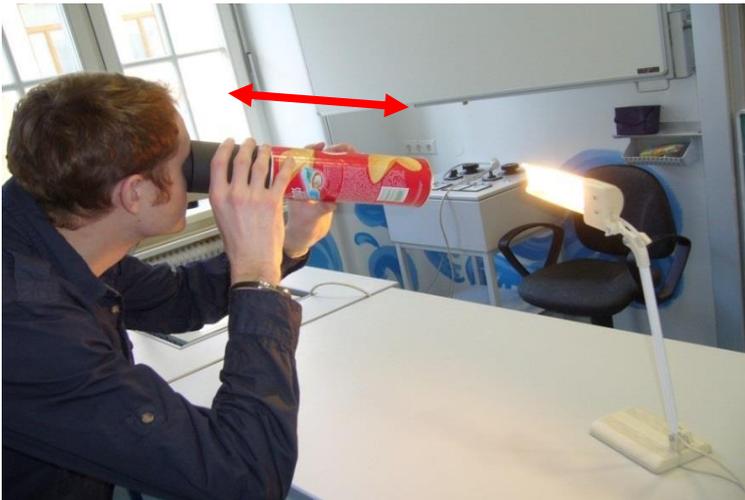
Die Lochkamera ist ein Augenmodell. Sie funktioniert so wie das Auge eines Kopffüßers. Licht tritt durch die Blendenöffnung in die Lochkamera ein. Am Schirm entsteht dann ein Bild des Gegenstandes. Links siehst du eine zerlegte Lochkamera (Abb. 2):

#### Vervollständige:

Die Blendenöffnung der Lochkamera hat die gleiche Aufgabe, wie der/die..... des Kopffüßerauges.

Der Schirm der Lochkamera hat eine ähnliche Aufgabe, wie die/der..... des Kopffüßerauges.

## Beobachtungen mit der Lochkamera



Die Lochkamera ist ein **Lichtstrahlungsnachweisgerät**. Du kannst damit überprüfen, ob Licht in Richtung der Lochkameraöffnung abgestrahlt wird. Fällt Licht auf den Schirm der Lochkamera, so kannst du etwas am Schirm erkennen. **Erinnere dich: VON NIX KOMMT NIX.**

Willst du einen Gegenstand mit der Lochkamera beobachten, dann musst du die Kamera so halten, dass Licht von dem Gegenstand durch die **Blendenöffnung** kommen kann (siehe Abb. 3).

Abb. 3: So beobachtest du einen Gegenstand mit der Lochkamera. Den Auszug kannst du herausziehen (siehe Pfeil), damit vergrößerst du den Abstand zwischen Lichteinlass und Schirm.

### Arbeitsauftrag 1:

- Betrachte mehrere von selbst leuchtende Gegenstände OHNE Lochkamera.
- Schaue dir die gleichen Gegenstände danach durch die Lochkamera an (siehe Abb. 4). Gehe dabei mit der Lochkamera nahe an diese Gegenstände ran, um ein deutliches Bild zu bekommen.
- Wie unterscheidet sich das Bild, das dein Auge macht, vom Bild, das die Lochkamera erzeugt? Formuliere einen Merksatz.

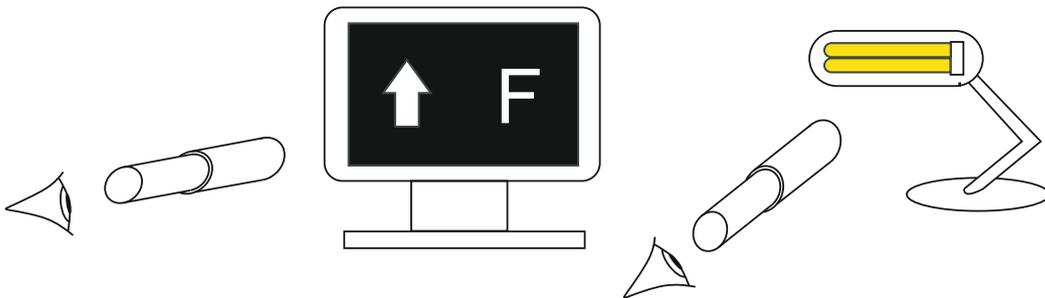


Abb. 4: Beobachte mit der Lochkamera selbst leuchtende Gegenstände (z.B. einen Monitor, oder eine Lampe).

### Arbeitsauftrag 2:

Kann der Beobachter in Abb. 5 ein Bild der Lampe am Transparentpapier der Lochkamera beobachten?

- Ich vermute:
- Der Grund für meine Vermutung ist:
- Meine Beobachtung beim Versuch:

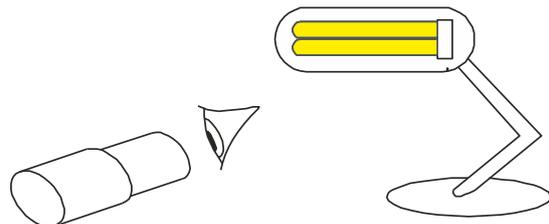


Abb. 5: Der Lichteinlass der Lochkamera zeigt von der Lampe weg. Der Lichteinlass entspricht einer Pupille.

### III. Das Sehen beleuchteter Gegenstände

Nach dem Sehen von selbstleuchtenden Gegenständen (Selbstsendern), wollen wir nun herausfinden, wie das mit nicht selbst leuchtenden Gegenständen (Zwischensendern) funktioniert. Du wirst feststellen, dass es hier viele Ähnlichkeiten gibt.

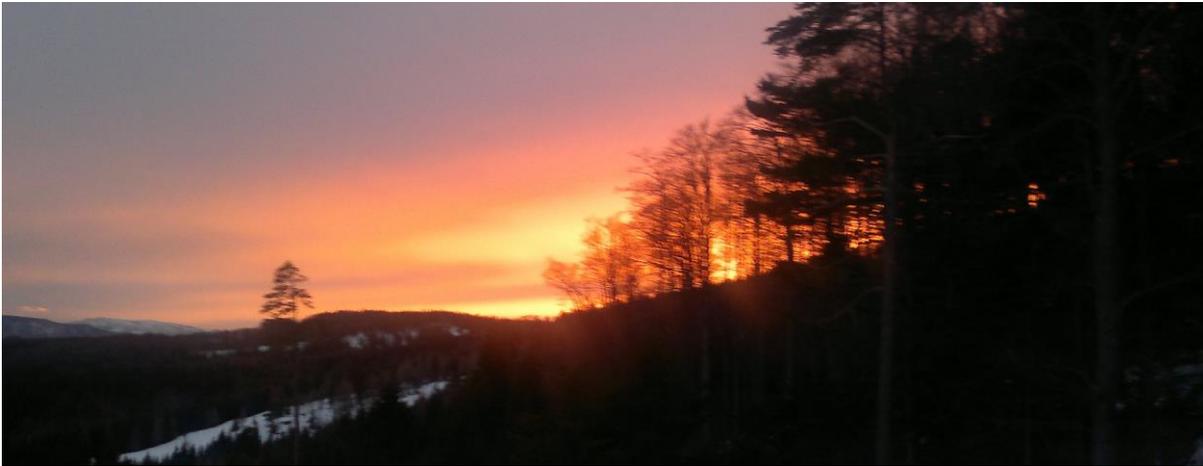


Abb. 1: Fotografie einer Berglandschaft bei Sonnenuntergang

Dieses Foto (Abb. 1) wurde aufgenommen, nachdem die Sonne hinter den Bergen untergegangen war. Die Wolken leuchten hell, obwohl sie **selbst kein Licht erzeugen**, wie es Kerzenflammen oder Lagerfeuer tun. Die Wolken leuchten deshalb, weil die Sonne sie anstrahlt (siehe Abb. 2).

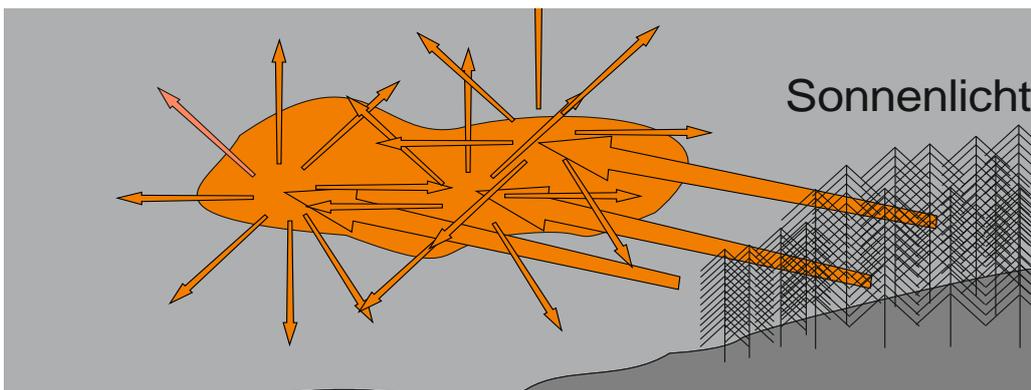


Abb. 2: Die Wolken werden mit Sonnenlicht angestrahlt.

Überlege: Wo befindet sich die Sonne in Abb. 2?

Die Wolken **schicken Licht** von der Sonne **weiter**. Ein Teil dieses Lichts von den Wolken kommt zum Fotografen. Daher sieht der Fotograf die Wolken hell, obwohl sie selbst kein Licht erzeugen (siehe Abb. 3).

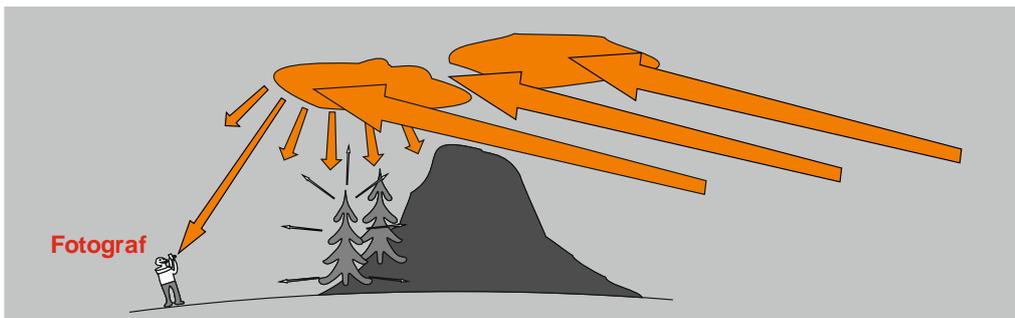


Abb. 3: Die Wolken strahlen das Licht der Sonne weiter. Ein Teil des Lichts gelangt bis zum Fotografen.

Im Foto vom Sonnenuntergang (Abb. 1, S. 12) siehst du noch ein paar Bäume. Sie sind schwer zu erkennen. Der Berg verdeckt die Sonne. Nur wenig Sonnenlicht gelangt deshalb zu den Bäumen (siehe Abb. 3, S. 12). Die Bäume können daher auch nur sehr wenig Licht zum Fotografen weiterschicken.

Wenn ein Gegenstand **wenig Licht abstrahlt**, dann bekommen wir **wenig Bildinformation** von diesem Gegenstand. In unserem Fall kommt kaum Licht von den Bäumen hin zum Fotografen. Deswegen erscheint am Foto fast alles gleich schwarz. Wir tun uns schwer, die Bäume von der Umgebung zu unterscheiden.

### **Wir werden das Sehen beleuchteter Gegenstände mit einem Experiment nachstellen:**

Für das Experiment benötigen wir einen abgedunkelten Klassenraum, einen Schüler oder eine Schülerin mit weißem Oberteil und eine starke Lampe (z.B. Projektor, Beamer).

- Der Raum ist abgedunkelt. Beobachte mit der Lochkamera das weiße Oberteil.
- Nun wird eine starke Lampe auf diese Schülerin gerichtet. Beobachte sie jetzt noch einmal durch die Lochkamera.

Die Lochkamera zeigt uns an, ob ein Gegenstand Licht in Richtung der Lochkamera abstrahlt oder nicht. Die Lochkamera dient uns wieder als **Nachweisgerät für Lichtempfang** bzw. **Lichtabstrahlung**.

Du kannst die Beobachtung mit der Lochkamera auf deine Augen übertragen (siehe Abb. 4):

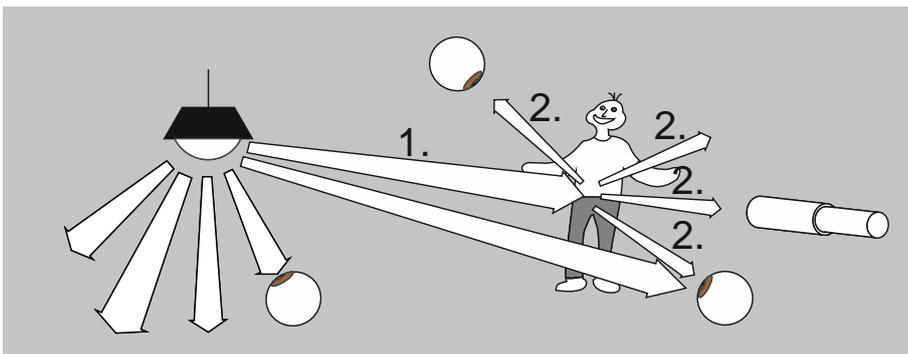


Abb. 4: Licht der Deckenlampe wird von dem Schüler aufgenommen. Ein Teil dieses Lichts wird in die Augen der Beobachter weitergestrahlt.

Der Mitschüler strahlt das Licht der Lampe weiter. Gelangt ein Teil des Lichts, das der Mitschüler weiterstrahlt in dein Auge, dann kannst du ihn sehen. Dieser Vorgang ist in Abb. 4 dargestellt.

Natürlich wird das Licht von jeder Stelle des Schülers weitergestrahlt. Damit die Abbildung übersichtlich ist, haben wir hier nur an einem Punkt des T-Shirts einen Teil der Lichtkegel eingezeichnet.

Generell gilt:

***Ich kann nur Gegenstände sehen, die Licht in mein Auge strahlen. Weil: VON NIX KOMMT NIX.***

Überlege:

Kannst du erklären wofür 1. und 2. in Abb. 4 steht?

Aufgabe<sup>iv</sup>:

Du hast gehört, dass Sonnenbrillen auch an bewölkten Tagen getragen werden sollen. Dein Vater ist bei eurer Familiengrillfeier völlig anderer Meinung. Er findet, deine Sonnenbrille bei Tisch ist nicht nur unhöflich, sondern auch unnötig, solange Wolken die Sonne verdecken. Welche physikalischen Argumente kannst du dagegenhalten?

## IV. Lichtsender

**Lichtsender** sind Gegenstände, die **Licht abstrahlen**. Wir unterscheiden **zwei Arten von Sendern**:

**1. Selbstsender:** *Selbstsender erzeugen selbst Licht. Sie strahlen das erzeugte Licht geradlinig in alle Richtungen ab (z. B. Glühbirne, Sonne). Selbstsender werden durch Erhitzen, Strom, etc. zum Strahlen angeregt.*

**2. Zwischensender:** *Zwischensender erzeugen selbst kein Licht. Sie strahlen nur dann Licht ab, wenn sie beleuchtet werden. Sie leiten das Licht eines Selbstsenders weiter, wenn sie beleuchtet werden (z. B. Tisch, Fußboden, Mond, Wolken).*

**Selbstsender und Zwischensender sind Sender**, weil sie **Licht abstrahlen** können. Für unser Auge funktioniert das Sehen eines Selbstsenders ganz gleich wie das Sehen eines Zwischensenders. Dazu muss immer Licht vom Sender DIREKT ins Auge gelangen.

### Aufgabe 1:

- Ein Baum steht im Sonnenlicht. Du siehst ihn. Warum kannst du ihn sehen? Zähle ALLE Punkte auf, die dafür nötig sind.
- Fertige eine Skizze mit **dir**, dem **Baum** und der **Sonne** an. Zeichne die Lichtwege ein!

### Aufgabe 2:

Rechts (Abb. 1<sup>v</sup>) siehst du eine Leuchtreklame. Franz und Rudolf streiten, ob die Leucht-reklame ein Selbstsender oder ein Zwischensender ist. Welche Argumente kannst du für beide Ansichten finden?



Abb. 1: Leuchtreklame

### Aufgabe 3:

Unten siehst du, wie ein Mosaik im Museum beleuchtet wird (Abb. 2).



Abb. 2: Beleuchtung im Museum

- a) Auf welche Gegenstände zeigen die Pfeile? Ordne die folgenden Begriffe richtig zu: *Schirm, Scheinwerfer, Mosaik*
- b) Warum kann der Scheinwerfer vom Mosaik weg leuchten und dabei trotzdem das Mosaik beleuchten?
- c) Was ändert sich, wenn dort statt dem weißen Schirm ein schwarzer Schirm hängt?

### Aufgabe 4<sup>vi</sup>:

Hast du dich schon einmal darüber informiert, welche Kriterien eine gute Sonnenbrille erfüllen soll? Erstellt im Team eine Liste mit Kriterien, die euch wichtig erscheinen und findet Gründe für eure Entscheidungen. Überprüft anschließend eure Vermutungen z.B. durch Internetrecherche.

### Aufgabe 5:

Recherchiert im Internet, welche Folgen zu viel Sonne für die Augen haben kann? Erstellt einen kurzen Informationstext für eure Schulzeitung. Denkt daran, die Internetquellen anzugeben.

### Aufgabe 6:

Nachts gibt es in Städten oft sehr helle Leuchtreklamen. Findet möglichst viele Argumente dafür, warum das gut ist bzw. dagegen, warum das negativ ist. Denkt dabei auch daran, für wen bzw. in welchen Situationen das störend sein kann.

## EXKURS: Die Mondphasen

Der Mond, den du am Himmel siehst, ist **kein Selbstsender**. Er leuchtet nur deshalb so hell, weil er das Licht der Sonne streut, also in alle Richtungen weiterstrahlt.

Die Erde bewegt sich um die Sonne. Der Erdmond bewegt sich um die Erde. In Abb. 1 ist dargestellt, wie sich **Erde und Mond gemeinsam um die Sonne bewegen**. Die Bahn des Mondes ist **um 5°** gegenüber der Bahn der Erde **geneigt** (siehe Abb. 2).

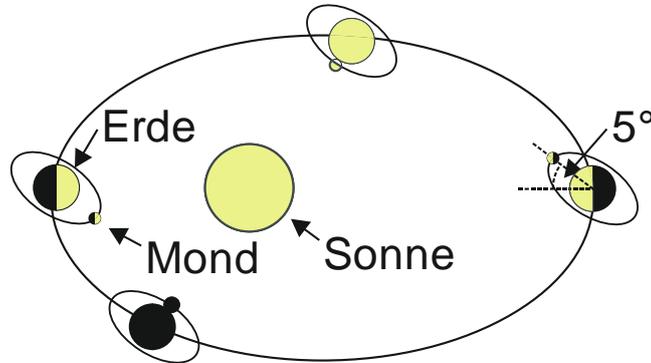


Abb. 1: Der Mond kreist um die Erde. Der Mond folgt der Erde bei ihrer Bewegung um die Sonne. **ACHTUNG: Die Abbildung ist NICHT maßstabsgetreu!**

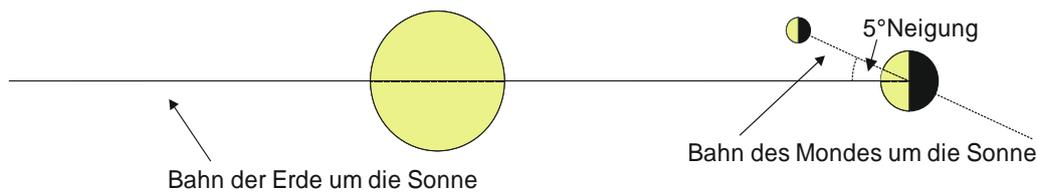


Abb. 2: Die Bahn des Mondes ist um 5° gegenüber der Bahn der Erde geneigt. **ACHTUNG: Die Abbildung ist NICHT maßstabsgetreu!**

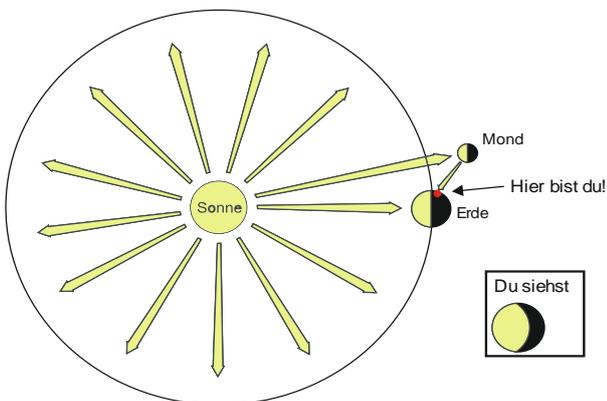


Abb. 3: So entsteht eine Mondphase.

Die Sonne bestrahlt immer eine Hälfte der Mondkugel. Das heißt, diese **halbe Mondkugel** ist ein **Zwischensender für das Sonnenlicht**. Allerdings haben wir von der Erde aus nicht immer eine vollständig freie Sicht auf diese „Zwischensenderhalbkugel“. Wieviel du vom Mond siehst, hängt davon ab, in welcher **Position sich der Mond genau befindet** (siehe Abb. 3). Du kannst natürlich nur den Teil des Mondes sehen, von dem Sonnenlicht in einer geradlinigen Bahn zu dir gelangen kann. Im Laufe etwa eines Monats sehen wir den Mond daher in verschiedenen Erscheinungsformen. Wir sprechen dabei von **Mondphasen** (siehe Abb. 4<sup>vii</sup>).



Abb.4: Mondphasen: Innerhalb von einem Monat kannst du diese unterschiedlichen Formen der beleuchteten Mondhalbkugel von der Erde aus sehen.

### Aufgabe für Zuhause:

Plane ein Modellexperiment, das zeigt, wie die Mondphasen entstehen. Überleg dir erst welche Gegenstände du als Modell für Sonne, Mond und Erde benötigst. Fertige dann eine Skizze des Experiments an. Führe es durch und mach Fotos. Verfasse eine Versuchsanleitung mit Erklärung für eure Partnernvokksschule.

Bei **Vollmond** ist die beleuchtete Mondhälfte vollständig zu sehen (siehe Abb. 1).

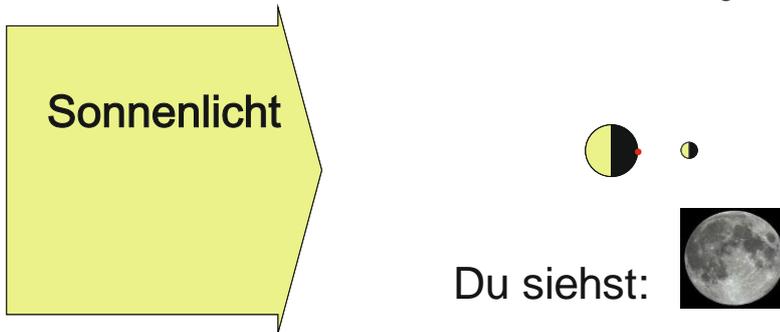


Abb. 1: Vollmond

Bei **Neumond** ist die beleuchtete Hälfte von der Erde abgewandt : **VON NIX, KOMMT NIX.**

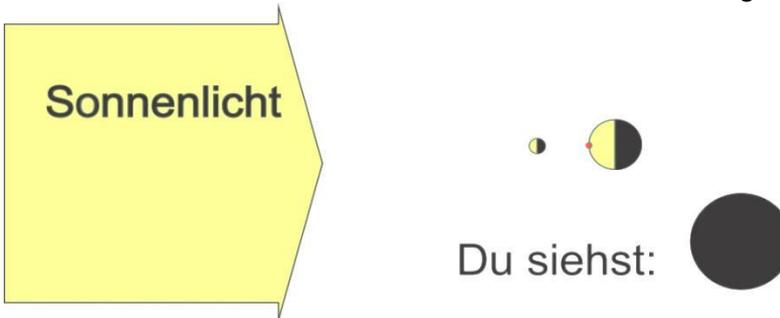


Abb. 2: Neumond

In Abb. 3 siehst du, wie der **Halbmond** entsteht.

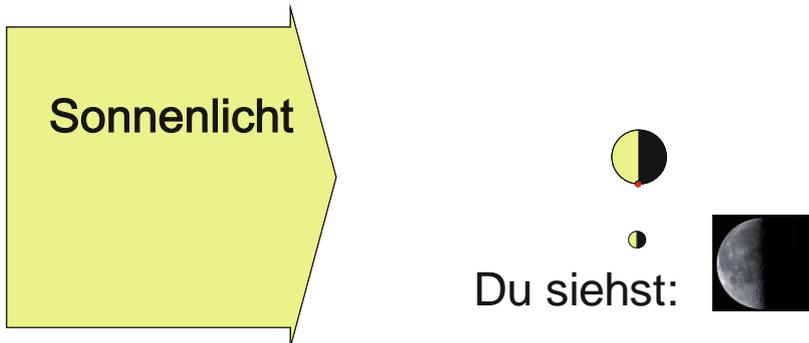


Abb. 3: Halbmond

Mondphasen entstehen also dadurch, dass der **Mond ein Zwischensender** ist und immer nur zur Hälfte von der Sonne beleuchtet wird. Hinzu kommt noch, dass sich Mond und Erde bewegen. In unserer **Position auf der Erde** empfangen wir daher zu **verschiedenen Zeiten Licht von verschieden großen Teilbereichen des Mondes**. Weil wir ja nur diese Zwischensenderteile des Mondes wahrnehmen können – **VON NIX KOMMT NIX** – erscheint uns der Mond in verschiedenen Formen. Ein Zyklus von Vollmond zu Vollmond dauert ungefähr einen Monat.

#### Arbeitsauftrag 1:

Beschrifte in Abb. 1, Abb. 2, und Abb. 3 jeweils Mond, Erde und deine Beobachterposition.

#### Arbeitsauftrag 2:

Führe eine Internetrecherche durch.

- Suche verschiedene Applets oder Kurzvideos zur Entstehung der Mondphasen.
- Wähle aus, welches du am besten findest. Verfasse einen kurzen Text, der beschreibt was im Applet oder Kurzvideo zu sehen ist. Der Text soll so geschrieben sein, dass ein/e Schüler/in aus der ersten Klasse verstehen kann, wie die Mondphasen entstehen.
- Begründe, warum du gerade dieses Applet oder Kurzvideo gewählt hast.

**Arbeitsauftrag 3:**

Vergleiche die Abbildungen auf Seite 15 und 16 mit Abb. 2 auf dieser Seite. Welche Unterschiede fallen dir bei der Darstellung von Mond und (Sonnen)licht auf? Diskutiert in Kleingruppen, welche Darstellungsweise man meist findet und welche physikalisch am besten ist.

**Arbeitsauftrag 4:**

Der folgende Versuch hilft dir, die Entstehung von Mondphasen zu verstehen. Du benötigst eine Schreibtischlampe, ein abgedunkeltes Zimmer und einen hellen Ball oder eine Styroporkugel (siehe Abb. 1).

Halte den Ball mit ausgestrecktem Arm schräg von dir weg nach oben (siehe Abb. 1).

- Stelle dich im abgedunkelten Zimmer in die Nähe der Schreibtischlampe. Die Lampe soll auf den Ball gerichtet sein.
- Drehe dich langsam um dich selbst. Der Ball soll sich um dich genauso bewegen, wie sich der Mond um die Erde bewegt. Du bist die Erde, der Ball ist der Mond und die Lampe soll die Sonne darstellen. Beobachte, wie sich der Schatten auf dem Ball verändert. Was siehst du auf dem Ball?

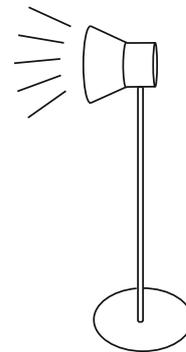
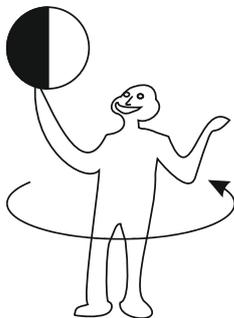


Abb. 1: Eine Schülerin / Ein Schüler beobachtet den Schatten auf einem beleuchteten Ball.

Zeichne verschiedene Mondsymbole an den Stellen ein, an denen du die jeweilige Schattenform am Ball beobachtet hast (siehe Abb. 2).

Überlege zuerst: Zu welchem Kästchen gehört der Vollmond?

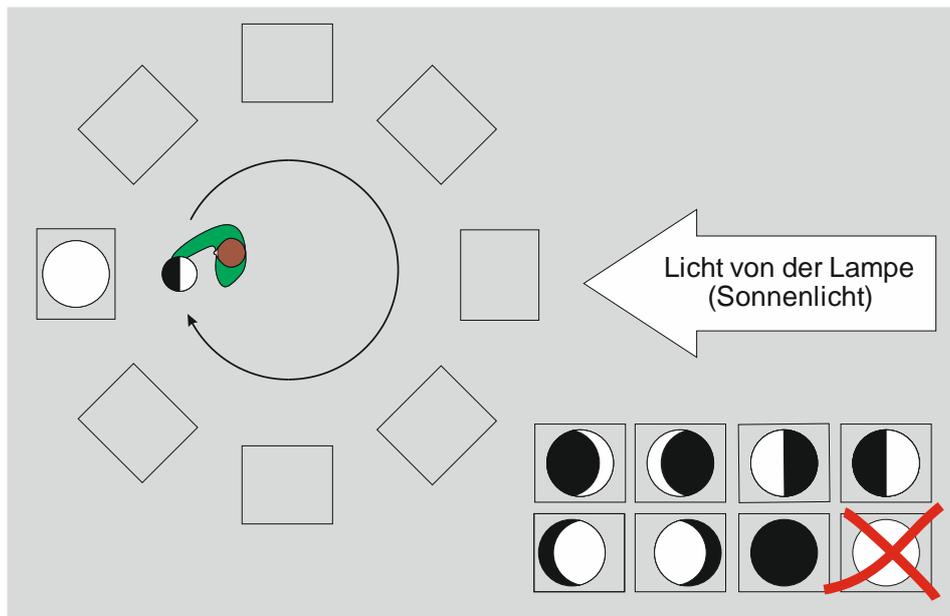


Abb. 2: An welcher Stelle kann man welche „Mondphase“ beobachten? Ordne alle 8 Mondphasen richtig zu.

**Arbeitsauftrag 5:**

Die Verfinsternis des Jupiter Mondes Io war ausschlaggebend für die erste Berechnung der Lichtgeschwindigkeit durch Olaf Römer. Bereite ein Kurzreferat dazu vor.

## V. Die Ausbreitung des Lichts

Wie breitet sich das Licht eigentlich aus? Wo kommt es her? Wohin strahlt es? Wie weit kann es sich ausbreiten? Welche Ideen hast du zu diesen Fragen? Vergleiche sie mit einer Partnerin oder einem Partner.

### **Licht strömt**

Wir überlegen uns die **Ausbreitung von Licht** am Beispiel einer Glühbirne. Bei einer eingeschalteten Lampe strömt Licht gleichmäßig von der Glühbirne weg. Das bedeutet, dass die Glühbirne **jeden Moment eine gleiche Menge Licht abstrahlt**. Fließt keine elektrische Energie durch die Glühbirne, dann hört sie auf zu leuchten. Ohne elektrischen Strom gibt es also keinen Lichtstrom. Das ist so, wie wenn du den Wasserhahn aufdrehst. Da kommt in jedem Moment immer die gleiche Menge Wasser heraus, bis du den Wasserhahn wieder abdrehst.

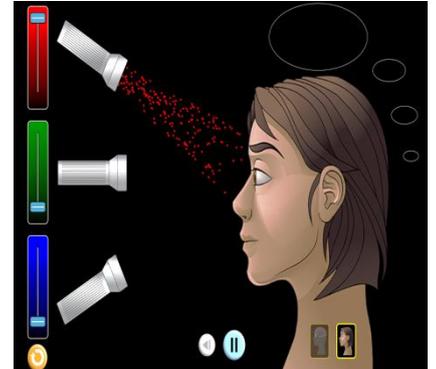


Abb. 1: Licht strömt in das Auge

#### Arbeitsauftrag 1:

Was fällt dir zum Zeitwort „strömen“ ein? Beschreibe! Wie passt das zu Licht?

#### Arbeitsauftrag 2:

Deine Lehrkraft wird dir nun das Applet aus Abb. 1<sup>viii</sup> zeigen. Beantworte die folgenden Fragen zum Applet.

- Was muss in dem Applet getan werden, damit die rote Lampe Licht erzeugt?
- Ab welchem Zeitpunkt kann die Person in dem Applet sehen, dass die rote Lampe an ist?
- Nun wird der rote Lichtregler heruntergefahren. Warum kann die Person noch kurz sehen, dass die rote Lampe an ist?

P.S.: In diesem Applet siehst du alles in Zeitlupe. In Wirklichkeit strömt das Licht viel, viel schneller. Dieses Applet findest du unter: [http://phet.colorado.edu/sims/html/color-vision/latest/color-vision\\_en.html](http://phet.colorado.edu/sims/html/color-vision/latest/color-vision_en.html)

Arbeitsauftrag 3: Beschreibe wie das mit dem Strömen des Lichts bei einer Fahrradbeleuchtung funktioniert, die mit einem Dynamo betrieben wird.

Du kannst dir einen **Lichtstrom** als Folge von vielen kleinen Lichtstößen vorstellen. Ein Stroboskop ist so ein Gerät, das viele kurze Lichtstöße erzeugt. Dabei wird ein Lämpchen kurz eingeschaltet und gleich darauf wieder ausgeschaltet.

Mit einer Stroboskop App für das Handy kannst du leicht ein Stroboskop nachmachen. Du kannst in dieser App die Frequenz einstellen. Das bedeutet, dass du bestimmen kannst, wie schnell sich die Beleuchtung ein- und ausschaltet.



Abb. 2: Stroboskop App

Arbeitsauftrag 4: Verwende eine Stroboskop App. Halte dein Handy gegen eine Wand oder eine Tischplatte, so dass du einen Lichtfleck erzeugst. Beobachte was mit den Lichtfleck passiert, wenn du die Frequenz erhöhst.

- Wann kommt am Tisch mehr Licht innerhalb von einer bestimmten Zeitdauer an, wenn der Leuchtfleck blinkt, oder wenn er „ruhig am Tisch liegt“?
- Dieser Lichtfleck wird mit steigender Frequenz immer „ruhiger“. Er sieht dann fast so aus, als ob die Beleuchtung des Handys ständig eingeschaltet wäre. Woher kommt das?
- Wie ist das bei einer Lampe, die an die Steckdose angeschlossen ist? Sendet die ständig Licht aus? Recherchiere!

Überlege: Wie ist das mit der Lichtströmung eigentlich bei der Sonne, wie ist es beim Mond? Wann strömt Licht, wann nicht?

## Licht strömt schnell

Licht **breitet sich sehr schnell** aus. Das merkst du jedes Mal, wenn du mit einer Spielkonsole am Fernseher oder am Computer spielst. Am Schirm wird etwas dargestellt und diese Information vom Bildschirm kommt fast im selben Moment durch deine Augen bei dir an, denn: Ohne Licht, keine Information. Du weißt ja – **VON NIX KOMMT NIX**.

Arbeitsauftrag: Stell dir vor, Licht würde sich viel, viel langsamer ausbreiten als es das tut – in „super-slow Motion“ also. Beschreibe wie sich das in verschiedenen Situationen in deinem Leben auswirken würde:

- auf ein Autorennspiel am Fernseher / Computer
- auf das Ein- bzw. Ausschalten einer Glühbirne
- wenn du dich vor den Spiegel stellst
- im Straßenverkehr
- bei einem Volleyballmatch

Auch Schall breitet sich sehr schnell aus, er ist jedoch langsamer als Licht. Das **Licht ist ungefähr 1 Million Mal schneller als der Schall**. Du siehst daher bei einem Blitzeinschlag zuerst das Licht als Blitz, danach hörst du den Schall als Donner.

Wie schnell das Licht ist, kann mit folgendem Experiment bestimmt werden:

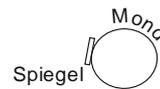
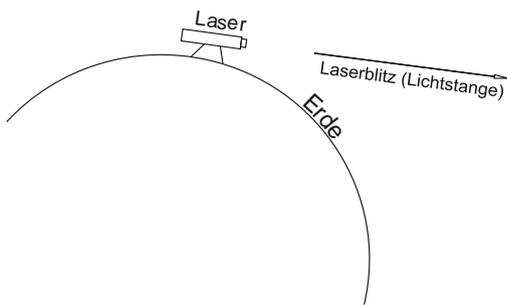


Abb. 2: Spiegel am Mond

Abb. 1: So kann man die Geschwindigkeit des Lichtes messen.

Ein Spiegel wurde bei einer der Mondlandungen am Mond montiert (siehe Abb. 2<sup>ix</sup>). Auf der Erde kann dieser Spiegel benutzt werden, um die Lichtgeschwindigkeit zu bestimmen. Man strahlt von der Erde mit einem Laserstrahl auf diesen Spiegel. Schaltet man den Laser kurz ein und gleich wieder aus, bildet sich ein Laserblitz. So ein Lichtblitz hat die Form einer Lichtstange (siehe Abb. 1). Nun misst man die Zeit, bis das Laserlicht wieder auf der Erde ankommt. Es braucht ungefähr 2,5 Sekunden um die Erdoberfläche wieder zu erreichen.

Aus der Entfernung von der Erde zum Mond, etwa 380.000 km, kann man sich nun die Lichtgeschwindigkeit ausrechnen. Die Strecke, die das Licht zurücklegen muss, ist zweimal die Entfernung von der Erde zum Mond. Den Laserblitz kann man erst sehen, wenn er 760.000km zurückgelegt hat. Der Laserblitz braucht für diese Strecke wie erwähnt ungefähr 2,5 Sekunden. Die Lichtgeschwindigkeit beträgt daher gerundet ca. 300.000km pro Sekunde.

### Aufgaben:

1. Die Sonne ist ungefähr 150 000 000 km von der Erde entfernt. Wie lange braucht das Licht von der Sonne bis zur Erde?
2. Weißt du, ob die Sonne JETZT Licht abstrahlt? Begründe.
3. Der Andromedanebel ist 2,7 Millionen Lichtjahre von der Erde entfernt. Ein Lichtjahr ist der Weg, den das Licht in einem Jahr zurücklegt. Wann ist das Licht vom Andromedanebel abgestrahlt worden, das wir jetzt sehen? Was bedeutet das für die Existenz von Sternen, wenn wir in den Nachthimmel schauen?

## Licht strömt geradlinig

Wenn sich eine Freundin hinter einer Häuserecke versteckt, kannst du sie hören, aber nicht sehen. Das Licht, das deine Freundin weitersendet, kann nicht in dein Auge gelangen. Denn Licht **breitet sich ausschließlich geradlinig aus**, es kann keine Kurven schlagen.

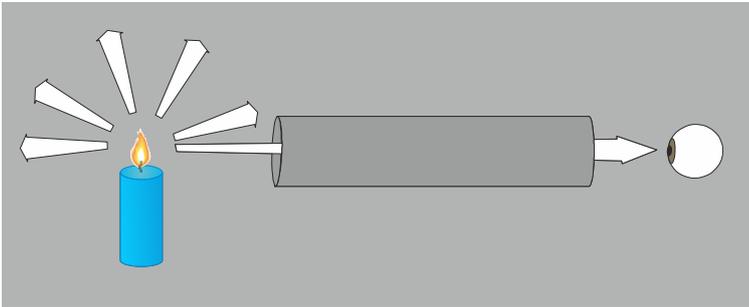


Abb. 1: Eine Kerzenflamme wird durch eine Papprolle betrachtet.

Du kannst selbst prüfen, ob sich das Licht wirklich nur geradlinig ausbreitet (siehe Abb. 1):

Beobachte eine Kerzenflamme einmal durch eine Röhre und einmal ohne Röhre. Durch die Röhre siehst du nur einen Teil von dem, was du vorher mit freiem Auge sehen konntest. Durch den Röhrenausschnitt, der auf die Kerzenflamme gerichtet ist, sieht die Kerzenflamme genauso aus wie vorher.

Das ist so, weil in beiden Fällen **Licht in einer geraden Linie** von der Flamme zu dir strömt. Das funktioniert nur, weil das **Licht in einer geraden Linie** von der Flamme zu dir strömt.

Für alle Sender gilt:

**Das Licht, das ein Lichtsender (=Selbst- oder Zwischensender) abstrahlt, strömt geradlinig in alle Richtungen aus.**

Überlege: Wie würde sich deine Beobachtung mit der Röhre ändern, wenn sich das Licht auf einer kurvigen oder zig-zag förmigen Bahn von der Flamme wegbewegen würde?

## Licht strömt weiter und weiter und weiter ...



Abb. 2: Skybeamer mit Lichtkegel

Du hast vielleicht schon mal so etwas Ähnliches wie in Abb. 2<sup>x</sup> links gesehen. Ein Skybeamer strahlt oft in den Nachthimmel um eine Discothek oder ein Fest anzuzeigen.

Solche **Lichtkegel** kannst du bei bestimmten Wetterverhältnissen besonders gut sehen. Wenn es Nacht ist und sich kleine Wassertröpfchen in der kalten Luft bilden, können wir den Weg des Lichts gut erkennen.

Die **Wassertröpfchen sind Zwischensender, sie streuen das Licht** des Scheinwerfers: D.h. das meiste Licht vom Skybeamer geht durch die Wassertröpfchen durch und breitet sich entlang eines Kegels weiter aus. Ein Teil des Lichts wird von den Wassertröpfchen in alle möglichen Richtungen weitergeleitet (gestreut). Trifft dieses **Licht**, das die Wassertröpfchen weiterstrahlen, in deine Augen, dann **siehst du den Lichtkegel**.

### Arbeitsauftrag 1:

Sieh dir den Lichtkegel am Foto genau an:

- Wie ändert sich die Helligkeit im oberen Teil des Lichtkegels?
- Wie kannst du das erklären?
- Wie würde der Lichtkegel aussehen, wenn keine Wassertröpfchen oder Staubteilchen in der Luft wären? Beschreibe und begründe.

### Arbeitsauftrag 2:

Georg, Flo, Anna und Romana diskutieren darüber, wie weit sich das Licht von so einem Skybeamer ausbreiten kann.

Georg meint: *Das hängt nur davon ab, wie stark der Skybeamer ist.*

Flo behauptet: *Je weiter sich das Licht von Skybeamer entfernt, umso langsamer wird es.*

Anna sagt: *Theoretisch kann sich das Licht bis ins Weltall und noch weiter ausbreiten.*

Romana ist überzeugt: *Das Licht wird von Luftteilchen aus seiner Richtung abgelenkt.*

- Wie beurteilst du diese Aussagen? Wer hat Recht, begründe!

## **Kann man Licht eigentlich sehen?**

Was meinst du, welche Argumente sprechen dafür, welche dagegen? Hilft dir unser Leitsatz für das Sehen hier weiter? - **VON NIX KOMMT NIX.**

Wir wollen nun in einem Experiment überprüfen, **wann man Licht sehen kann.**

- In einem abgedunkelten Raum leuchtet deine Lehrerin mit einer Taschenlampe an eine weiße Wand. Was kannst du zwischen Lampe und Wand beobachten? Wo ist Licht sichtbar?
- Als nächstes zündet deine Lehrerin ein Räucherstäbchen an, das sich zwischen Lampe und Wand befindet. Du kannst nun einen Lichtkegel zwischen der Lampe und der Wand erkennen. Begründe warum du jetzt den Lichtweg sehen kannst. Skizziere den Versuch und die Lichtwege.

### Arbeitsauftrag 1:

Bei einer Fahrt nachts im Nebel kannst du die Lichtkegel sehen, die von den Scheinwerfern weggehen.

Erkläre, warum kannst du diese Lichtkegel sehen?

### Arbeitsauftrag 2:

Formuliere einen kurzen Text (Merksatz), der erklärt,

- wie weit sich Licht ausbreiten kann und
- ob bzw. wann Licht sichtbar ist.

## **Aufgaben zu Licht und dessen Ausbreitung:**

- 1) In Abb. 1 siehst du eine Luftaufnahme von Franz, Sisi und Maximilian. Die drei verstecken sich hinter Mauern. Wer kann wen (teilweise) sehen? Beantworte die Frage zeichnerisch mit Hilfe der unteren Abbildung. Denke daran, dass Licht nur geradlinig in die Augen gelangen kann!

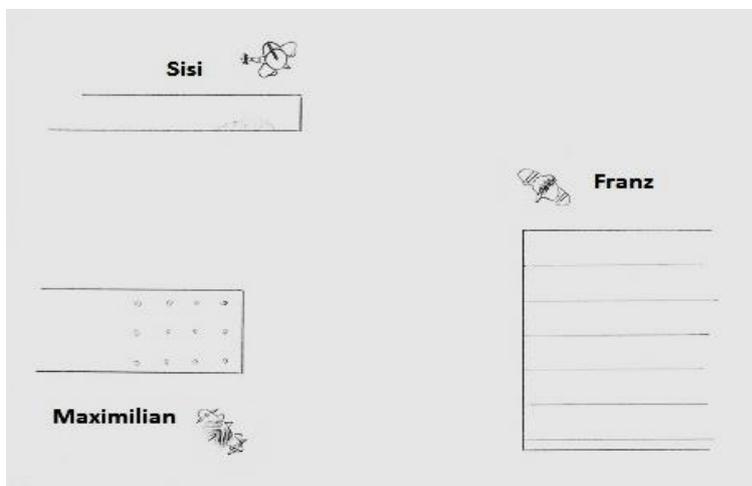
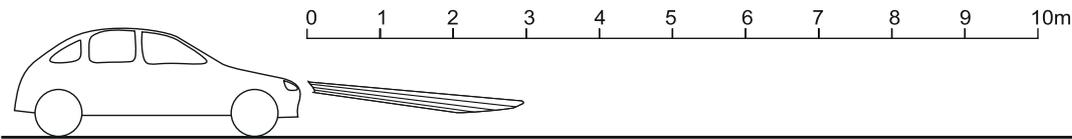


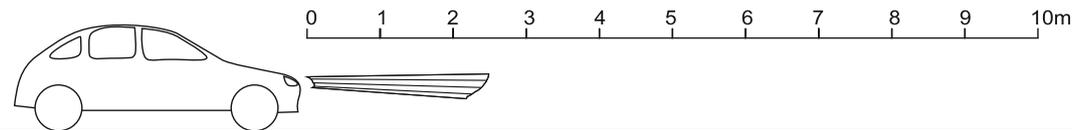
Abb. 1: Sisi, Franz und Maximilian von oben betrachtet.

- 2) Roman hat zu seinem Geburtstag einen extrem starken, grünen Laserpointer bekommen. Sein Opa hat den Laser im Internet bestellt. Seine Mutter will nicht, dass Roman damit direkt jemanden anleuchtet, weil das gefährlich ist. Deswegen spielt Roman nur abends im Freien mit dem Laser, wenn es dunkel ist und die anderen Kinder schon in ihren Häusern sind. Im Team:
- Was wisst ihr über die Gefährlichkeit von Laserpointern allgemein und von grünen Lasern im Speziellen? Tauscht euch erst aus und recherchiert dann im Internet. (Quellenangaben nicht vergessen!)
  - Wie sinnvoll ist die Idee, dass Roman nur abends im Freien mit dem Laser spielen darf? Findet möglichst viele Argumente, die dafür und dagegen sprechen.

- 3) Ein Auto fährt mit eingeschalteten Scheinwerfern.
- Wie viele Meter strahlt das Abblendlicht von den Scheinwerfern weg?
  - Miss die größte Entfernung des Lichtflecks zum Scheinwerfer! Benutze den abgebildeten Maßstab.



- Wie weit strahlt das Fernlicht nun von den Scheinwerfern weg?



- 4) Wie ändert sich die Helligkeit eines beleuchteten Bereichs, wenn der Bereich weiter vom Scheinwerfer entfernt ist?
- 5) Warum ändert sich die Helligkeit des beleuchteten Bereichs mit der Entfernung?
- 6) Wie würdest du einem Mitschüler erklären, warum man die Scheinwerfer aus großer Entfernung kaum sieht? Was passiert mit dem Licht?

## VI. Die Zusammensetzung von Licht

Du hast nun schon eine Reihe von **Eigenschaften des Lichts kennengelernt**. Bisher waren das Eigenschaften, die mit der Ausbreitung zu tun hatten. Jetzt wollen wir uns Eigenschaften anschauen, die mit der **Zusammensetzung von Licht** zu tun haben. Nach den nächsten Kapiteln sollst du nämlich erklären können, warum wir Gegenstände in verschiedenen Farben sehen können.

### **Kann Licht eine Farbe haben?**

Wir machen nun ein Experiment, das dir weitere Eigenschaften des Lichts zeigen soll. Unten siehst du eine Schachtel mit einem Loch (Abb. 1). Abb. 2 zeigt, was du siehst, wenn du durch das Loch in die Schachtel siehst.



Abb. 1: Schachtel mit Loch



Abb. 2: Ein Blick durch das Loch in die Schachtel

Beschreibe was du siehst!

*Ich sehe...*

Stelle eine Vermutung an: Was ist in der Schachtel drinnen?

*Ich vermute in der Schachtel ist...*



Abb. 3: Ein Blick in die Schachtel

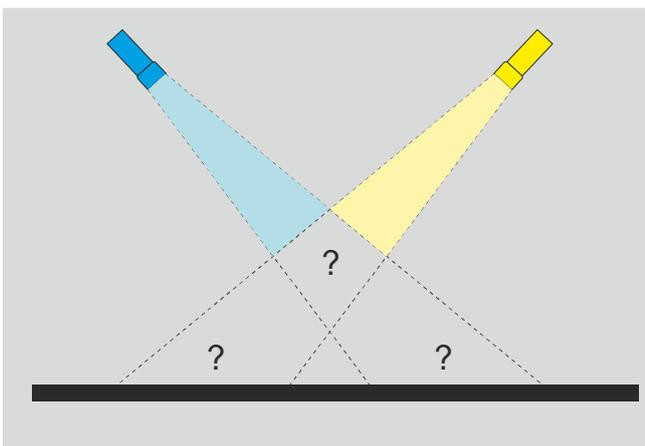
Nun wollen wir in die Schachtel hineinschauen (Abb. 3). Beschreibe was du siehst! Beschreibe die Wege und Farben der Lichtkegel am Schachtelboden!

*In der Schachtel...*

Du siehst also, verschiedene Lichtsorten kann man mischen. Der Lichtkegel der grünen und der roten Lampe werden zusammengemischt, wenn sich ihr Licht an einer Stelle trifft. Eine neue Lichtfarbe entsteht. Das geht natürlich auch mit anderen Lichtfarben.

**Demoversuch:**

Deine Lehrkraft hat zwei Selbstsender, die unterschiedliche Lichtsorten aussenden. Ähnlich wie im Schachtelexperiment **kreuzen sich die verschiedenfarbigen Lichtkegel** (Abb. 4). Licht von beiden Lampen strömt gleichzeitig durch den Kreuzungspunkt durch. Was vermutest du: Welche Farbe haben die Lichtkegel, nachdem sie sich gekreuzt haben?



Meine Vermutung:

Abb. 4: Färbige Lichtkegel kreuzen sich und laufen wieder auseinander.

Beobachte nun im Demoversuch, was mit den farbigen Lichtkegeln passiert, wenn sie sich kreuzen und dann wieder auseinanderlaufen.

Beschreibe den Demoversuch:

Erst gibt es einen \_\_\_\_\_ und  
 einen \_\_\_\_\_ Lichtkegel. Am Kreuzungspunkt  
 sehe ich \_\_\_\_\_.  
 Hinter dem Kreuzungspunkt sehe ich \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_.

### Ergebnis des Demoversuches:

Wir können also zusammenfassen: Licht kann färbig sein. **Verschiedene Lichtsorten können zusammengemischt werden.** Sie ergeben an der Kreuzungsstelle eine **neue Lichtfarbe**. Die Kreuzungsstelle erscheint uns auch heller, weil dort in jedem Moment doppelt so viel Licht hinkommt, wie von einem Lichtkegel alleine. Nach der Kreuzungsstelle hat jeder Kegel wieder seine ursprünglich Lichtfarbe und Lichtmenge.

Auch **Sonnenlicht** ist in Wirklichkeit die **Mischung** aus **verschiedenen Lichtfarben**. Unser Auge kann die verschiedenen Lichtfarben, die im Sonnenlicht gemischt sind, aber nicht getrennt wahrnehmen. Wie du später sehen wirst, kann man die einzelnen Lichtsorten des Sonnenlichts aber mit Hilfsmitteln sichtbar machen. **Beleuchtungsmittel**, die wir in Räumen verwenden, sind meistens **dem Sonnenlicht sehr ähnlich**. Diese Beleuchtungsmittel ersetzen für uns das Tageslicht in Räumen.

### Arbeitsauftrag 1:

Denke an verschiedene Lichtsender, die im Alltag vorkommen. Wie würdest du die Farbe des Lichts beschreiben, das diese Beleuchtungsmittel abstrahlen?

Lichtsender	Lichtfarbe	Lichtsender	Lichtfarbe
LED Taschenlampe		Energiesparlampe	
Laserpointer		Kerze	
Glühbirne		Sonne	

Du kannst leicht überprüfen, **welche Lichtfarbe** ein Lichtsender wirklich abstrahlt: Das Blaulicht der Polizei macht blaue Lichtflecke am weißen Polizeiauto (siehe Abb. 5a<sup>xi</sup>). Die orange Signalleuchte macht orange Lichtflecke am weißen Autodach (siehe Abb. 5b).



Abb. 5a: Blaue Lichtflecke am weißen Autodach



Abb. 5b: Orange Lichtflecke am weißen Autodach

### Arbeitsauftrag 2:

- Überlege dir, wie man mit einfachen Materialien nachprüfen kann, welche Lichtfarbe die Lichtsender aus Auftrag 1 abstrahlen.
- Vergleicht eure Ideen in der Kleingruppe und entscheidet euch für eine Idee.
- Probiert euer „Nachweisexperiment“ mit den verschiedenen Lichtsendern aus: Beschreibt was ihr beobachtet und vergleicht die Ergebnisse mit den Überlegungen in Auftrag 1.

### Arbeitsauftrag 3:

In Arbeitsauftrag 3 aus S. 17 wurde schon thematisiert, dass Licht oft gelb dargestellt wird. Führe das Nachweisexperiment für Lichtfarbe nun mit einem sonnenähnlichen Lichtsender und dem gelben Lichtsender vom Demoexperiment auf S. 23 durch. Was kannst du beobachten?

**Sonnenähnliche Lichtsender** machen auf einem weißen Blatt oder einer weißen Wand einen hellen, **weißen Lichtfleck**. Aus diesem Grund sagen Physiker/innen zu sonnenähnlichem Licht auch „**weißes Licht**“. Gelbe Lichtsender machen einen gelblichen Lichtfleck auf einer weißen Wand. **Gelbes Licht und Sonnenlicht (= weißes Licht) sind verschieden!**

## **Licht ist anders?!**

Wir haben bisher schon viele Eigenschaften von Licht kennen gelernt. Nun wollen wir kurz auf eine ganz spezielle Eigenschaft von Licht eingehen, die im ersten Moment vielleicht sonderbar erscheint.

### Überlege:

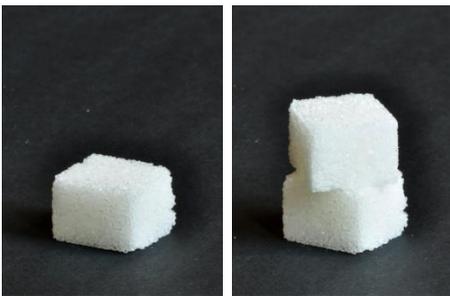
Wir kommen noch einmal zu unserem Demoexperiment von Seite 23 zurück. Dort wird das Licht von zwei verschiedenfarbigen Lampen gekreuzt. Am Kreuzungspunkt ist es heller, weil dort gleichzeitig das Licht von beiden Lampen durchströmt. Welche besondere Eigenschaft hat Licht, die materielle Stoffe (z.B. Wasser, Holz, ...) nicht haben?

Wie hilft dir diese besondere Eigenschaft von Licht Folgendes zu erklären?

- Am Tag ist es hell, weil ständig Licht von der Sonne auf die Erde gelangt.
- Das Licht eines Autoscheinwerfers kann sich am Tag ausbreiten, obwohl es taghell ist.
- Auch bei Tageslicht kommt das Licht von Sternen auf der Erde an.

An diesen Beispielen ist dir vielleicht aufgefallen, dass Licht anders ist als materielle Stoffe (Festkörper, Flüssigkeiten, Gase). Du kannst **an einen Ort beliebig viel Licht** hinstrahlen. Wenn wir die Lichtkegel von zwei Lampen kreuzen (siehe S. 23, Abb. 4), kann am Kreuzungspunkt gleichzeitig das Licht von beiden Lampen sein.

**LICHT IST ANDERS: WO SCHON LICHT IST, KANN NOCHMAL ZUSÄTZLICHES LICHT HIN.** Beim Demoexperiment von S. 23 ist am gleichen Ort plötzlich doppelt so viel Licht.



*Abb. 6a: Wo schon Würfelzucker sind, kann kein Würfelzucker mehr hin.*



*Abb. 6b: In ein volles Glas passt kein Saft mehr.*

Das geht mit **materiellen Stoffen nicht:**

- Wenn am Tisch ein Stück Würfelzucker liegt, dann kannst du genau an diesen Ort kein zweites Stück Würfelzucker hinlegen (Abb. 6a).
- Du kannst in ein Glas, das mit Saft vollgefüllt ist, keinen zusätzlichen Saft mehr einfüllen (Abb. 6b).
- Auch bei Gasen ist das so. In einen Luftballon, der schon voll aufgeblasen ist, kannst du nicht nochmal die gleiche Menge Luft reinfüllen. Der Luftballon würde sich ausdehnen und dann platzen.

Also wir können sagen: **WO SCHON MATERIE IST, HAT KEINE WEITERE MATERIE MEHR PLATZ.**

**Licht ist anders als materielle Stoffe: An ein und demselben Ort kann gleichzeitig beliebig viel Licht sein.**

## Woraus setzen sich Sonnenlicht und sonnenähnliches Licht eigentlich zusammen?

Nun wollen wir die verschiedenen Lichtfarben des Sonnenlichts durch einen Versuch sichtbar machen:

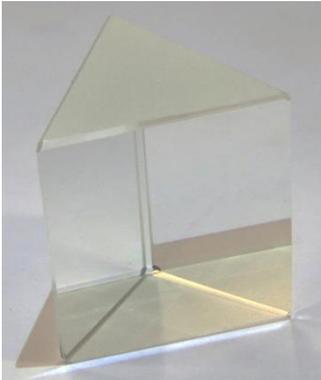


Abb. 4: Prisma

Zur Untersuchung von Licht verwenden wir ein Prisma. Das ist ein kleiner Kunststoff- oder Glaskörper, mit einem Dreieck als Grundfläche (Abb. 4<sup>xii</sup>).

Wenn Licht schräg von Luft in Glas strömt, oder umgekehrt, dann **ändert** sich die **Lichtgeschwindigkeit**. Dadurch **ändert** das Licht auch seinen **Weg**, es macht einen **Knick**. Physiker/innen sagen „das Licht wird gebrochen“. Um dir das besser vorstellen zu können, betrachte Abb. 5. Hier siehst du wie ein roter Laserstrahl zweimal an der Grenze zwischen Glas und Luft gebrochen wird. Genau besprechen wir die Brechung später beim Thema Linsen.

Arbeitsauftrag: Zeichne in Abb. 5 ein, wie der rote Strahl verlaufen würde, wenn er nicht gebrochen würde.

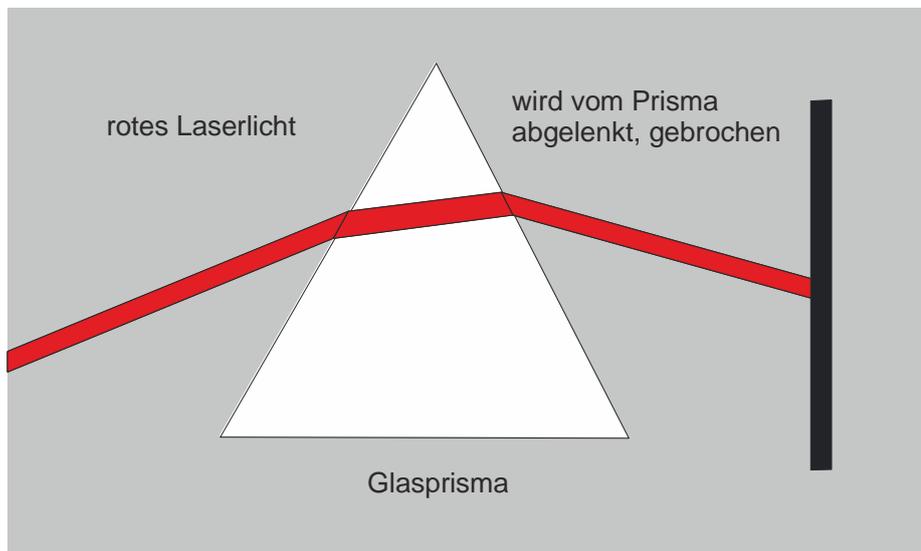


Abb. 5: Laserlicht wird im Glasprisma abgelenkt, also gebrochen.

Aber warum können wir mit dem **Prisma** die **Zusammensetzung von Licht untersuchen**? Dazu musst du Folgendes wissen: Die verschiedenfarbigen Lichtsorten im weißen Licht sind unterschiedlich schnell, wenn sie sich in anderen Stoffen als Luft ausbreiten. Rot ist z.B. schneller als Blau und wird daher weniger vom ursprünglichen Weg abgelenkt. Das ist ähnlich, wie wenn du mit Rollschuhen oder Rollerskates von der Straße auf eine Wiese fährst. Du wirst abgebremst und von deiner ursprünglichen Richtung abgebracht. Je langsamer du unterwegs bist, umso mehr wirst du von deiner Ausgangsrichtung abgelenkt.

Wichtig ist, dass du dir merkst: In **Vakuum** (annähernd auch in Luft) bewegen sich die **Lichtsorten jeder Lichtfarbe mit Lichtgeschwindigkeit**. Du weißt ja schon, dass das 300.000.000 m/s sind. Sobald Licht sich allerdings **in anderen Stoffen** ausbreitet, ändert sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit. Wie schnell es dann strömt, **hängt von seiner Lichtfarbe ab**, aber auch vom Stoff, in dem es sich ausbreitet.

Nicht nur Prismen können Licht brechen. Das funktioniert auch mit anderen, durchsichtigen Körpern. Diese Aufspaltung von Sonnenlicht in verschiedene Lichtfarben findest du bei Wassertropfen, oder bei Diamanten und Kristallustern. Du kannst dann schöne Farbmuster wie beim Regenbogen beobachten. Wir wollen uns diesen Effekt jetzt genauer ansehen.

**Wir sehen uns nun im Versuch an, was mit Sonnenlicht im Prisma passiert:**

Wir verwenden dazu das starke Licht eines Overheadprojektors. Das Licht des Overheads ist dem Sonnenlicht sehr ähnlich. Wir nennen es daher auch **weißes Licht**.

In Abb. 6 siehst du: Ein **Lichtstrahl** trifft schräg auf das Prisma und wird gebrochen. Die verschiedenen Lichtsorten breiten sich im Prisma verschieden schnell aus. Deshalb werden sie auch verschieden stark an der Grenze zwischen Glas und Luft geknickt (gebrochen). So **spaltet** das **Glasprisma** das Licht des Overheadprojektors in **die verschiedenfarbige Lichtsorten auf**.

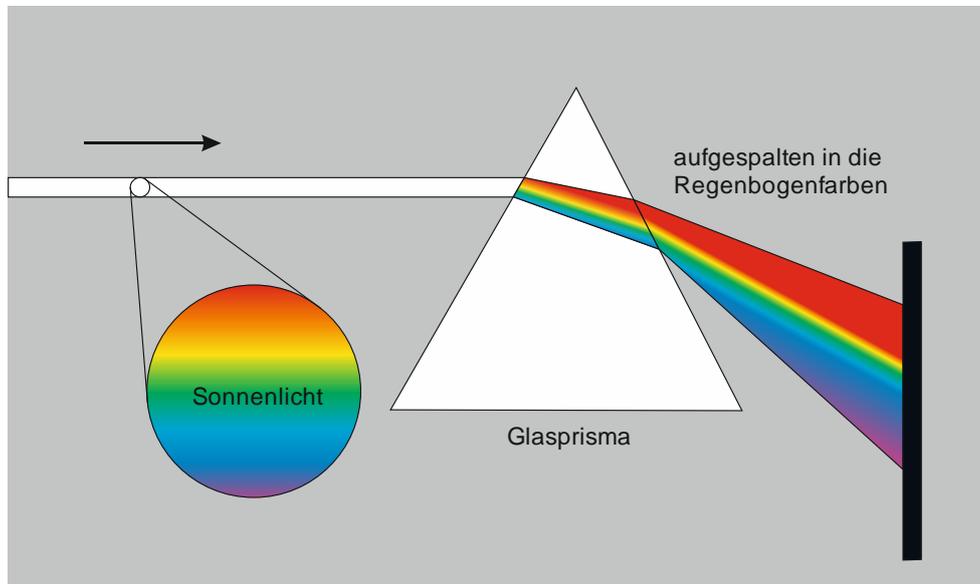


Abb. 6: Das Glasprisma spaltet das weiße Licht in die verschiedenen Lichtsorten, die Regenbogenfarben.

**Wir können also zusammenfassen: Weißes Licht (Sonnenlicht, Licht von Kerzen, Lampen, usw.) lässt sich in die verschiedenen Lichtfarben des Regenbogens aufspalten.**

Nun wirst du eine Darstellung unseres Experiments am Computer sehen. Damit du die **Geschwindigkeitsänderungen** besser nachvollziehen kannst, sind von den Lichtstrahlen nur einzelne Punkte dargestellt. Zusätzlich musst du dir auch vorstellen, dass wir eine **Super-Super-Zeitlupe** sehen, denn wie du ja weißt, ist das Licht extrem schnell.

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Light\\_dispersion\\_conceptual.gif](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Light_dispersion_conceptual.gif)

Arbeitsauftrag 1: Beobachte und beschreibe die Bewegung von einem roten und einem blauen Lichtpunkt, die gleichzeitig aus dem Sonnenlicht aufgespalten werden.

Im Prisma: Der rote Lichtpunkt \_\_\_\_\_ im

Vergleich zum blauen Lichtpunkt. Die \_\_\_\_\_ Lichtsorte

wird im Prisma stärker von der ursprünglichen Richtung abgelenkt wie

\_\_\_\_\_.

Arbeitsauftrag 2: Zeichne mit Buntstiften die Lichtwege in Abb. 7 ein. Zur Kontrolle kannst du dann mit Abb. 6, S. 27 vergleichen.

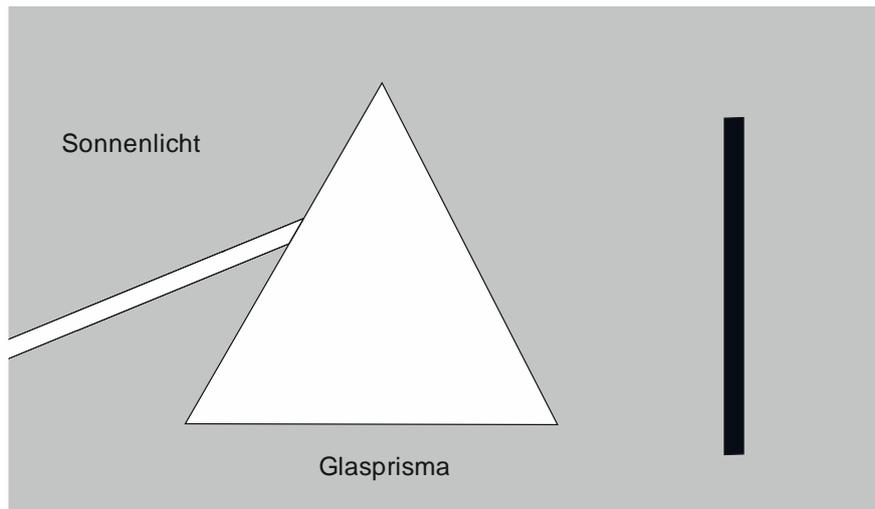


Abb. 7: Sonnenlicht trifft auf das Prisma.

Arbeitsauftrag 3: Kann man die Regenbogenfarben, die durch Aufspalten des Sonnenlichts entstanden sind, noch weiter aufspalten? Was vermutest du?

- Überlege dir einen Versuch, mit dem du das überprüfen kannst.
- Vergleiche deine Ideen mit zwei Mitschüler/innen.
- Führt gemeinsam diese Versuche durch und vergleicht den Ausgang mit euren Vermutungen.
- Diskutiert nun noch einmal die Aussage von vorne: „Gelbes Licht und weißes Licht sind verschieden.“ Was genau ist verschieden?

### ***Kann man einzelne Lichtsorten aus dem Sonnenlicht herausfiltern?***

Nun werden abwechselnd eine rote und eine grüne Folie auf den Overheadprojektor gelegt und an eine weiße Wand projiziert. Dazu muss erst gut abgedunkelt werden.

Arbeitsauftrag:

- Beschreibe was du nun beobachtest?  
Wenn die **grüne** Folie am Overhead liegt, dann sehe ich an der Wand...

Wenn die **rote** Folie am Overhead liegt, dann sehe ich an der Wand...

- Beschreibe kurz die Zusammensetzung des Lichts, das
  - zur Folie hinströmt?
  - von der Folie zur Wand strömt?
- Was passiert eigentlich, wenn das Licht die Wand trifft? Wie geht der Lichtweg weiter?

Die Folien wirken wie **Farbfilter**. Farbfilter lassen **nur eine bestimmte Lichtsorte** durch. Der Rotfilter lässt beispielsweise nur die rote Lichtfarbe durch. Der Grünfilter lässt nur die grüne Lichtfarbe durch, usw.

Du kannst dir das **wie ein Sieb** vorstellen, mit dem du Sand siebst. Sandkörner, mit einer bestimmten Größe werden durchgelassen, größere Stücke wie Steine zum Beispiel bleiben im Sieb.

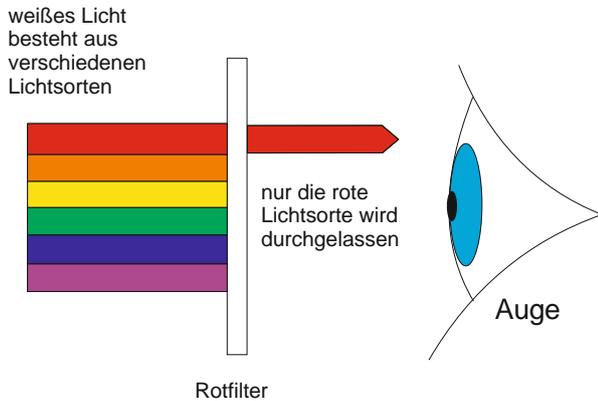


Abb. 8: Rotfilter bei weißem Licht

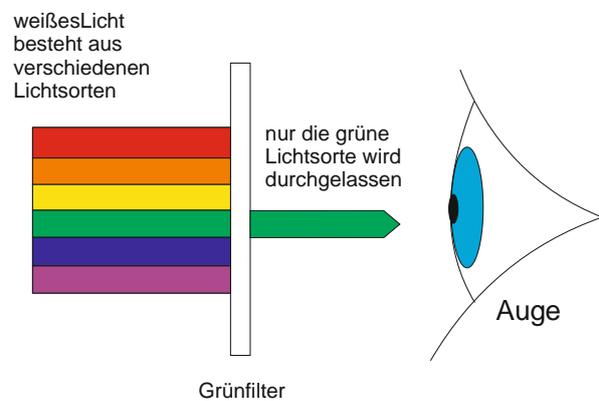


Abb. 9: Grünfilter bei weißem Licht

Du weißt ja, dass Licht Energie transportiert. Die **Energiemenge**, die Licht transportiert **geht beim Filter NICHT verloren**. Durch den Rotfilter z.B. geht nur die rote Lichtsorte durch, also auch nur ein Teil der Energie des weißen Lichts. Die **restliche Energie** bleibt im Rotfilter. Dort wird sie in **innere Energie des Filters umgewandelt**.

Wir können also sagen: Der **Rotfilter** ist ein **Zwischensender für die rote Lichtsorte**, er nimmt rotes Licht auf und sendet es weiter. Der Rotfilter ist aber ein **Energiewandler für alle NICHT-roten Lichtsorten**. Er **sendet sie nicht weiter**, sondern wandelt sie in **innere Energie** um. Du erinnerst dich bestimmt, wenn die innere Energie eines Körpers zunimmt, dann steigt seine Temperatur. Auch hier gilt – **VON NIX KOMMT NIX**.

Arbeitsauftrag: Was glaubst du passiert, wenn man eine grüne Folie in einen roten Lichtstrahl hält?

Meine Vermutung: Wenn man eine grüne Folie in einen roten Lichtstrahl hält, dann sieht man...

Meine Erklärung: Die rote Lichtsorte kommt auf den Grünfilter. Dort...

Fertige eine Skizze an, die diesen Vorgang darstellt.

Sehen wir uns das nun im Versuch an. Sobald wir einen Grünfilter in das rote Lichtbündel halten, ist der rote Lichtfleck an der Wand verschwunden. Die **grüne Folie** lässt nur grünes Licht durch. Sie ist ein **Zwischensender für grünes Licht** und ein **Energiewandler für alle NICHT-grünen Lichtsorten**. Rotes Licht wird von der grünen Folie also herausgefiltert und in innere Energie umgewandelt. An der Wand bleibt es dunkel, kein Licht gelangt bis zur Wand. Du weißt ja – **VON NIX KOMMT NIX**.

Als nächstes wollen wir herausfinden, welche Filter Zwischensender für welche Lichtfarben sind. Dazu verwenden wir ein Applet, das du schon aus vorherigen Kapiteln kennst.

[http://phet.colorado.edu/sims/html/color-vision/latest/color-vision\\_en.html](http://phet.colorado.edu/sims/html/color-vision/latest/color-vision_en.html)

Arbeitsauftrag:

Zuerst sollst du dich mit dem Applet zurechtfinden: Schalte die Taschenlampe (TL) ein. Stelle ein, dass die Taschenlampe weißes Licht aussendet. Geh dabei auf die Einstellung, in der du die einzelnen Lichtfarben als Lichtpunkte sehen kannst.

a) Wähle nun verschiedene Filter aus und finde heraus, welchen Farbeindruck die Beobachterin wahrnimmt (Abb. 10).

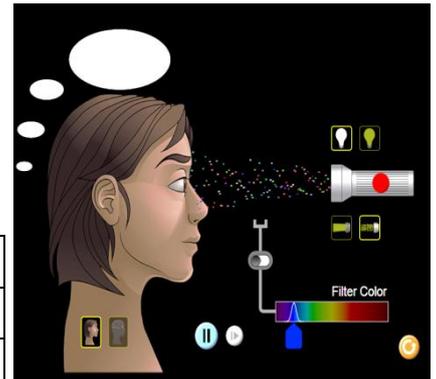


Abb. 10<sup>viii</sup>: Applet zu Farben

<b>Lichtfarbe (TL)</b>	weiß	weiß	weiß	weiß	weiß
<b>Filterfarbe</b>					
<b>Farbeindruck</b>					

- b) Ändere nun die Lichtfarbe der Taschenlampe auf Rot und wähle dazu den roten Farbfilter aus. Was passiert?
- c) Ändere nun die Lichtfarbe auf Grün. Was kannst du nun feststellen?
- d) Nun sollst du dir überlegen, wie du herausfinden kannst, für welche Lichtfarben ein Farbfilter Zwischensender ist. Experimentiere und trage die Ergebnisse in die Tabelle unten ein.

Filterfarbe <sup>viii</sup>	Zwischensender für	Filterfarbe <sup>viii</sup>	Zwischensender für
		Wähle eine Filterfarbe	

e) Formuliere einen Merksatz, der beschreibt warum die Beobachterin jeweils einen bestimmten Farbeindruck wahrnimmt. Erkläre dazu den Zusammenhang von Lichtfarbe, Filterfarbe und Farbeindruck der Beobachterin.

## Kann man weißes Licht aus verschiedenen Lichtsorten erzeugen?

Wir wollen nun herausfinden, was passiert, wenn wir alle Lichtsorten des weißen Lichts wieder vermischen. Hast du eine Vermutung was passiert?

Meine Vermutung: Wenn wir alle Regenbogenfarben mischen dann ...

### Hast du eine Idee, wie man Licht vermischen kann?

Wir machen das Gegenteil von dem, was in einem Prisma passiert. Wir lenken die verschiedenen Lichtfarben an einer Stelle zusammen. Das geht, erinnere dich: Licht ist anders!

Dazu verwenden wir eine Linse, so wie sie in einer Lupe verwendet wird. **Linsen brechen das Licht** auch. Sie sind aber so **geformt**, dass sie **Licht bündeln** können.

### Arbeitsauftrag:

Was beobachtest du, wenn die Linse in die regenbogenfärbigen Lichtstreifen gehalten wird? Beschreibe was mit dem farbigen Lichtbündel nach dem Durchgang durch die Linse passiert:



Abb. 11: Eine Sammellinse bündelt Regenbogenfarben.

Die **Linse** führt **alle einzelnen Lichtsorten** des weißen Lichts an einer Stelle zusammen. An dieser Stelle sehen wir einen weißen Lichtfleck, weil **unser Auge die Regenbogenfarben** nun **nicht mehr getrennt wahrnehmen** kann.

Wir können also zusammenfassen: Weißes Licht besteht aus verschiedenen Lichtfarben.

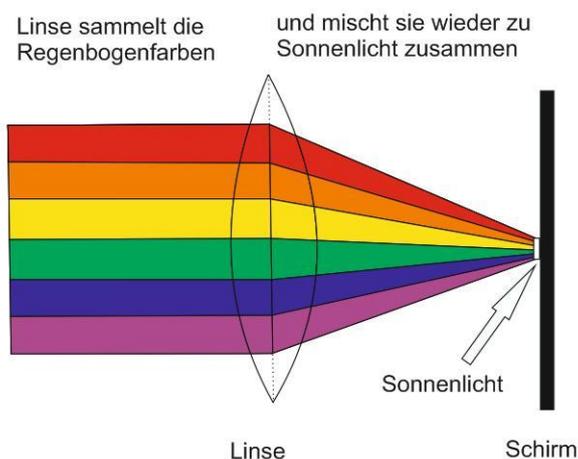


Abb. 12: Die Linse vereinigt die Regenbogenfarben wieder zu Sonnenlicht.

**Du kannst dir das so vorstellen:**

**Weißes Licht** (Sonnenlicht, Licht von Glühbirnen, etc.) ist wie ein **Puzzle**. Für dieses Puzzle brauchen wir verschiedene Lichtsorten. Diese **Lichtsorten** entsprechen den **Puzzlesteinen**. Erst **wenn man alle Lichtsorten zusammenmischt**, entsteht **weißes Licht** (Sonnenlicht, Tageslicht). Vergisst man einen Puzzlestein, so ist das Puzzle nicht vollständig. Dann entsteht kein weißes Licht, sondern eine andere, neue Lichtfarbe.

Aufgabe:

Rita erzählt dir: „Bei mir daheim da gibt es kein weißes Licht. Wir haben warmweißes Licht.“ Recherchiere, ob es wirklich warmweißes Licht gibt.

Als nächstes sollst du herausfinden, wie man weißes Licht auch ohne Linse herstellen kann.

Verwende dazu wieder das Applet von [http://phet.colorado.edu/sims/html/color-vision/latest/color-vision\\_en.html](http://phet.colorado.edu/sims/html/color-vision/latest/color-vision_en.html)

Arbeitsauftrag 1:

Arbeite dieses Mal mit drei verschiedenfarbigen Lichtsendern.

- a) Welche Lichtfarben musst du zusammenfügen, damit der Farbeindruck weiß entsteht? Schreibt im Team eine kurze Gebrauchsanweisung dafür, wie man weißes Licht mischen kann.

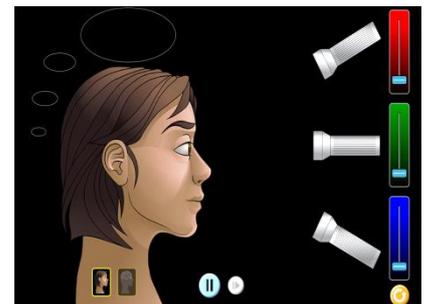


Abbildung 13<sup>viii</sup>: Applet RGB

In unseren Augen gibt es Lichtempfänger für die drei Lichtfarben Rot, Grün und Blau. Diese drei Lichtfarben reichen, um im Gehirn Farbeindrücke von allen Regenbogenfarben zu erhalten.

- b) Finde heraus, welche Kombinationen von Lichtfarben im Gehirn die Farbeindrücke in der Tabelle auslösen.

Farbeindruck	Lichtfarben, die ins Auge strömen
	
	
	
	
	
	

Arbeitsauftrag 2:

Welche Lichtfarben senden überhaupt Displays (Handy, Laptop, Tablet, ...) aus? Verwende eine Lupe um verschiedene Displays zu untersuchen.

Arbeitsauftrag 3:

Wir haben bisher zwei Möglichkeiten kennengelernt, wie man Lichtfarbe verändern kann. Man kann einzelne Lichtfarben aus einem Lichtbündel herausfiltern, oder man kann Lichtfarben zusammenmischen.

In der Fachsprache nennt man diese beiden Arten, Lichtfarben zu verändern auch „Addition“ und „Subtraktion“. Überlegt im Team, was die Addition und was die Subtraktion ist. Begründet eure Vermutung.

Arbeitsauftrag 4:

In letzter Zeit war immer wieder in den Medien zu hören oder zu lesen „blaues Licht stört den Schlaf“. Recherchiere, was damit gemeint ist und ob dich das auch betrifft.

## VII. Farbige Körper

Nun weißt du schon eine ganze Menge über die Eigenschaften von Licht. Du weißt auch schon, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, damit wir Gegenstände überhaupt sehen können. Erinnerung dich nur – **VON NIX KOMMT NIX**.

Dieser Leitsatz wird auch fürs Sehen farbiger Körper wichtig. Wir wollen nun herausfinden, was passiert, wenn Licht auf einen Gegenstand auftrifft und warum wir diesen Gegenstand dann in einer bestimmten Farbe sehen.

### **Die Streuung – Zwischensender verteilen einfallendes Licht**

Denke an den Versuch mit dem beleuchteten Mitschüler (S. 13, Abb. 4). Mit deiner Lochkamera konntest du beobachten, dass Licht von deinem Mitschüler auf den Schirm deiner Lochkamera gelangt ist. Du weißt also schon: Zwischensender leiten das Licht von einem Selbstsender weiter.

Wir leuchten mit einer Taschenlampe auf den weißen Boden einer Schachtel. Du kannst nun sehen, dass alle Seiten der Schachtel erleuchtet sind (siehe Abb. 1a).

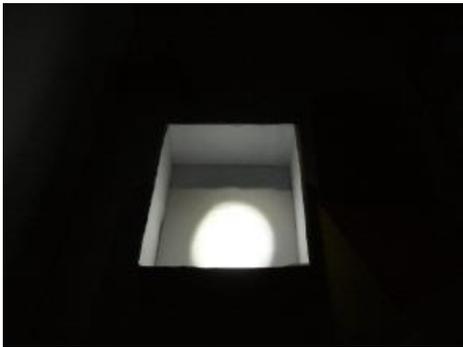


Abb. 1a: Das gestreute Licht erleuchtet auch die Seitenwände der Schachtel.

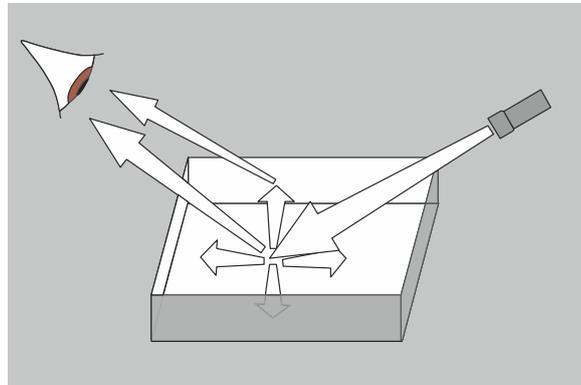


Abb. 1b: Das Licht vom Schachtelboden wird in alle Richtungen weitergeleitet (=gestreut).

Der Schachtelboden leitet das Licht in alle möglichen Richtungen weiter - erst zu den Seitenwänden, dann ins Auge des Beobachters. (Abb. 1b)

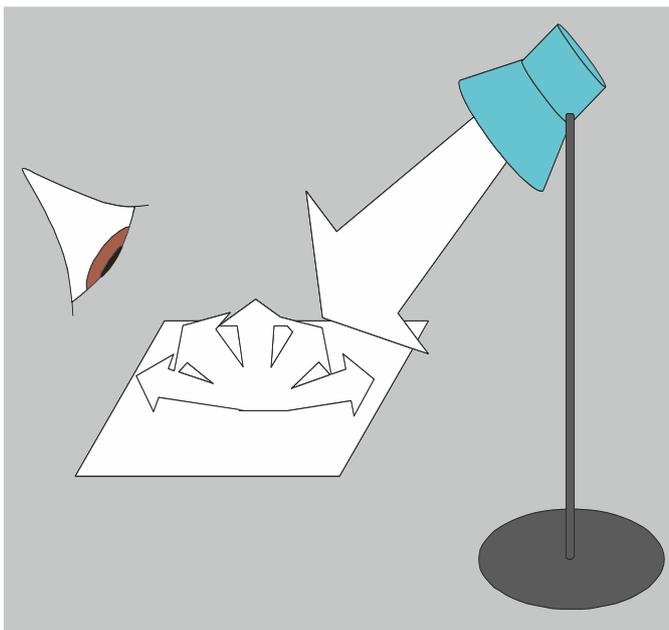


Abb. 1c: Licht wird an Unebenheiten gestreut, d.h. in alle Richtungen gleichmäßig verteilt.

Physiker/innen nennen diesen Vorgang **Streuung von Licht**, weil die mikroskopisch kleinen Unebenheiten der Papieroberfläche das Licht in alle möglichen Richtungen verteilen, also verstreuen (Abb. 1c). Das Licht wird gestreut.

#### Überlege:

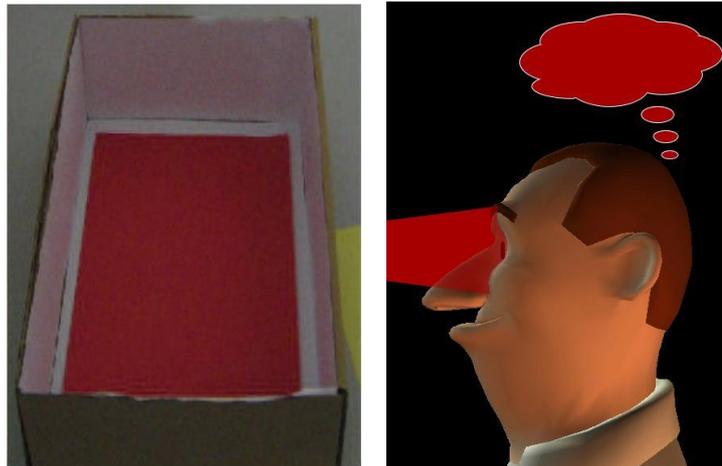
Kannst du erklären woher der helle Lichtfleck in Abbildung 1a stammt?

Arbeitsauftrag: Für eine gute Atmosphäre werden in Räumen immer wieder Lampen eingesetzt, die direkt an die Decke strahlen statt von der Decke herunter. Recherchiere wie solche Lampen aussehen. Wie funktioniert es, dass sie den gesamten Raum erleuchten können? Was hat das mit unserem Thema hier zu tun?

## **Zwischensender oder Energiewandler? Das ist hier die Frage!**

Wir wollen nun herausfinden, warum wir Gegenstände in verschiedenen Farben sehen und was das mit der Streuung zu tun hat.

Dazu legen wir ein Blatt Papier auf den Schachtelboden der weißen Schachtel. Wir beleuchten das Blatt mit einer Taschenlampe, die weißes Licht aussendet. Dieses Licht ist dem Sonnenlicht sehr ähnlich. Betrachte nun die Schachtelwände (Abb. 2). Du siehst, dass die Schachtelwände jetzt rötlich erscheinen, obwohl sie doch vorher eigentlich einen weißen Farbeindruck erzeugt haben. Wie funktioniert das?



*Abb. 2: Schachtel mit rotem Blatt am Boden wird mit sonnenähnlichem Licht beleuchtet. Der Beobachter nimmt die Farbe Rot wahr.*

Das weiße Licht der Taschenlampe trifft das Papier am Schachtelboden. Das Blatt nimmt das Licht der Taschenlampe auf. Die rote Lichtsorte wird wieder abgestrahlt. Alle anderen Lichtsorten des sonnenähnlichen Lichts werden aber vom Blatt aufgenommen und in innere Energie umgewandelt. Das Blatt strahlt die rote Lichtsorte in alle Richtungen ab. Ein Teil davon gelangt direkt in unser Auge. Ein anderer Teil trifft erst auf die Schachtelwand und von dort in unser Auge. **VON NIX KOMMT NIX**. Wir sehen die Schachtelwand daher leicht rötlich.

Das Blatt am Schachtelboden ist also ein **Zwischensender für die rote Lichtsorte** und ein **Energiewandler für alle NICHT-roten Lichtsorten**. Die Schachtelwände sind ebenfalls Zwischensender und strahlen das rote Licht weiter in dein Auge. Wir haben eine roten Farbeindruck.

Oben haben wir erfahren, dass **Gegenstände Zwischensender für bestimmte Lichtsorten** sein können. Wir nehmen den Gegenstand in der Farbe wahr, die er in unsere Augen weiterstrahlt. Erinnerung dich: **VON NIX KOMMT NIX**. Nun wollen wir untersuchen, was genau mit dem Licht passiert, das auf einen Gegenstand trifft. Bis jetzt wissen wir noch nicht alles darüber.

Trifft Licht auf einen Gegenstand, wird das **Licht** vom Gegenstand **aufgenommen**. Der Gegenstand wandelt einen **Teil** des Lichts in **innere Energie** um (**Energiewandler**). Der andere **Teil** des Lichts **wird wieder abgestrahlt (Zwischensender)**. Das ist ähnlich wie beim Filter.

Gegenstände haben die Eigenschaft, dass sie immer einen ganz bestimmten Teil des weißen Lichts weiterstrahlen können. **Es ist aber keine feste Eigenschaft, in welcher Farbe ein Körper erscheint. Es ist aber eine feste, nicht veränderbare Eigenschaft eines Körpers für welche Lichtsorten er ein Zwischensender ist.** Wir sehen den Körper dann genau in der Farbe für die er ein Zwischensender ist. Die folgende Abbildung soll dir helfen das besser zu verstehen.

Ein Teil des aufgenommenen Sonnenlichts  
wird wieder als Licht abgestrahlt

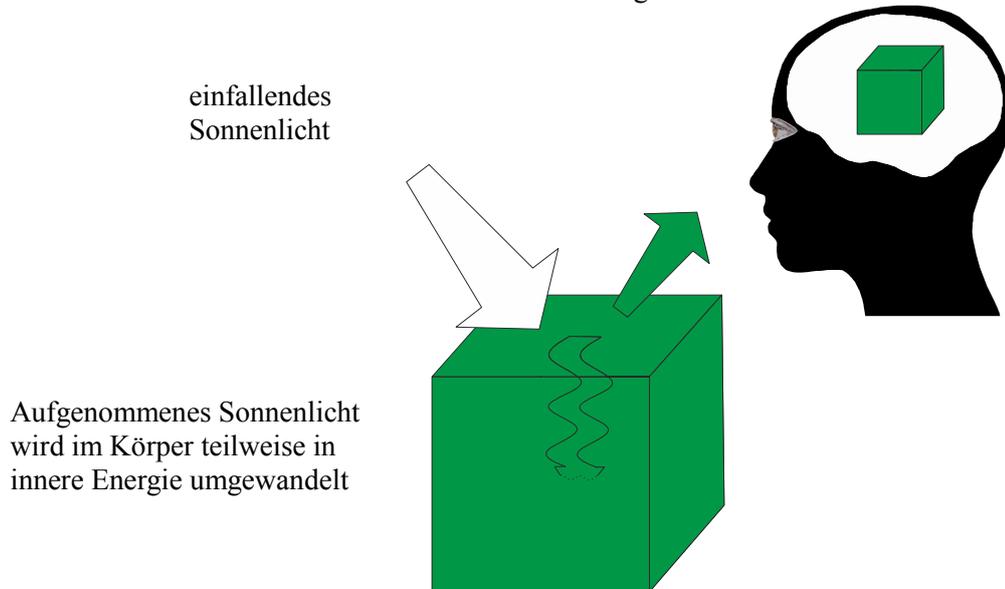


Abb. 3: Bei unserem Beispiel ist der Würfel ein Zwischensender für die grüne Lichtsorte des Sonnenlichts. Er erzeugt daher einen grünen Farbeindruck. Umgangssprachlich sagen wir „er ist grün“.

### Nun wollen wir überlegen, was mit dem aufgenommenen Licht passiert:

Erinnere dich an die Eigenschaften des Lichts: Licht ist Strahlung, die Energie übertragen kann. Denke auch an den Farbfiler, den wir mit einem Sieb verglichen haben. Nur ein Teil des Sonnenlichts geht nach dem Filter weiter, der Rest bleibt im Filter und wird dort in innere Energie umgewandelt. Ähnlich ist es mit Gegenständen. Wenn **Sonnenlicht auf einen Gegenstand fällt**, dann ist der Gegenstand für **manche Lichtsorten Zwischensender** und für **alle anderen Energiewandler**. Wie bei Filtern geht natürlich auch hier nichts von der Energiemenge, die vom Sonnenlicht zum Gegenstand transportiert wird, verloren. Diese **Energiemenge teilt sich auf**. Kannst du schon vermuten in welche Teile? Ergänze unten:

Energiemenge, die Sonnenlicht zum Körper transportiert =  
\_\_\_\_\_ + \_\_\_\_\_

Man kann die Lösung so zusammenfassen: Die erhöhte **innere Energie im Gegenstand** / Filter und die **Energie im weitergestrahlten Licht**, ergeben zusammen genau so viel **Energie**, wie das **einfallende Licht** am Anfang transportiert hat.

Körper können also **Licht aufnehmen** und in **innere Energie umwandeln**. Das hast du vielleicht selbst schon gespürt: Du kennst sicher Rotlichtlampen. Mit Rotlichtlampen werden Körperteile angeleuchtet, um Muskelverspannungen zu lösen. Der aufgenommene Lichtanteil wird in innere Energie umgewandelt. Diese innere Energie wirkt sich als Temperaturanstieg aus. Das löst die Verspannung und lindert den Schmerz.

#### Arbeitsauftrag:

Stell dir einen **roten Apfel** vor. Genauer gesagt, einen Apfel, der im Sonnenlicht rot erscheint. **Das Sonnenlicht** trifft auf den rot erscheinenden Apfel. Wieso nehmen wir den Apfel rot wahr?

- Beschreibe den Lichtweg von der Sonne bis zu deinen Augen.
- Fertige eine Skizze von diesem Vorgang an.
- Erkläre warum die Formulierung „ein Apfel, der rot erscheint“ richtiger ist als ein „roter Apfel“?
- Überlege, warum wir im Alltag trotzdem nicht die physikalisch richtige Formulierung verwenden.

## Hier kannst du nun deine Antworten vergleichen!

Wir nehmen den Apfel rot wahr, weil er ein **Zwischensender** für die **rote Lichtsorte** des Sonnenlichts ist. **Nur die rote Lichtsorte** wird vom Apfel **wieder abgestrahlt**. Dieser rote Lichtanteil trifft in dein Auge und dein Gehirn erzeugt den Farbeindruck rot. Du weißt ja - **VON NIX KOMMT NIX**.

Für alle **anderen Lichtsorten** ist der Apfel aber ein **Energiewandler**. Diese anderen Lichtsorten werden aufgenommen und in **innere Energie** des Apfels **umgewandelt**. Du kannst den Temperaturunterschied fühlen, wenn du einen Apfel im Sommer in die Sonne legst und einen in den Schatten. Im Schatten gibt es weniger Licht, das der Apfel in innere Energie umwandeln kann als in der prallen Sonne. Deswegen ist seine Temperatur im Schatten niedriger.

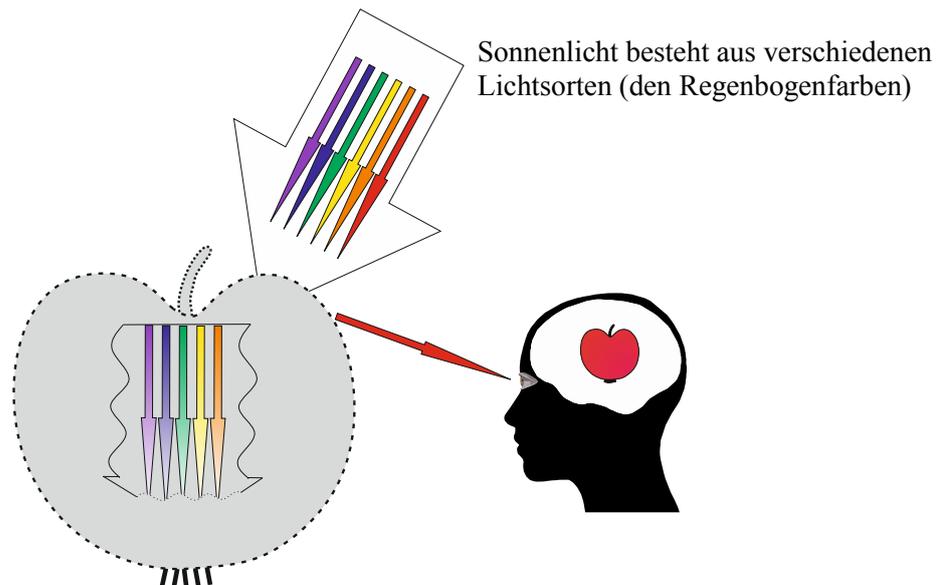


Abb. 4: Die rote Lichtsorte wird wieder abgestrahlt, alle anderen Anteile werden aufgenommen. Wir nehmen den Apfel rot wahr.

Die kleinsten Teilchen an der Oberfläche des Apfels funktionieren so ähnlich wie ein Filter. Sie filtern alle eintreffenden Lichtsorten, für die sie keine **Zwischensender** sind, heraus und wandeln sie in **innere Energie** um. Diese Teilchen werden auch **Farbpartikel** genannt. Sie sind mikroskopisch klein und mit freiem Auge nicht sichtbar. Wir können nur ihre Wirkung wahrnehmen. Wenn sich verschiedene Sorten von mikroskopischen Farbpartikeln nebeneinander befinden, dann beeinflussen sie sich gegenseitig. Ein Farbpartikel kann das Licht, das ein anderes Farbpartikel weitergestrahlt hat, wieder aufnehmen und in **innere Energie** umwandeln. Insgesamt können daher nur die Lichtfarben zu einem Empfänger weitergesendet werden, für die alle vorhandenen Farbpartikelsorten **Zwischensender** sind. Du kennst das bestimmt vom Malen mit Wasserfarben. Wenn du Farbpartikel aller Wasserfarben zusammenmischt, dann kommt schwarz heraus. Der Grund dafür ist, dass für jede Lichtsorte im Sonnenlicht ein mikroskopisches Farbpartikel da ist, das als **Energiewandler** fungiert. Keine der eintreffenden Lichtsorten des weißen Lichts wird weitergesendet und **VON NIX KOMMT NIX**.

## Wie ist das eigentlich mit schwarz und weiß?

Wir wollen uns nun mit **zwei speziellen Fällen** beschäftigen:

Wann erscheint ein **Gegenstand weiß**, wann erscheint er **schwarz**?

Wie kann ein Körper schwarz oder weiß erscheinen, wenn es keine weiße oder schwarze Regenbogenfarbe gibt? Sind schwarz und weiß eigentlich Farben?

## Was empfangen wir, wenn wir einen Gegenstand weiß wahrnehmen?

Ein Gegenstand erscheint **weiß**, wenn von allen Lichtsorten des Sonnenlichts **Lichtanteile** wieder **abgegeben** werden und ins Auge gelangen. Abb. 5 hilft dir das besser zu verstehen.

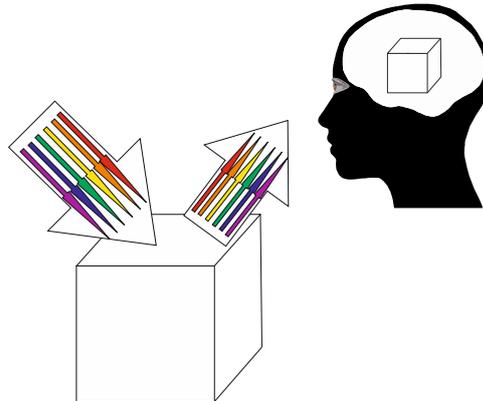


Abb. 5: Wenn der Großteil von jeder Lichtfarbe weitergesendet wird, erscheint der Würfel weiß.

### Aufgabe 1:

- Für welche Lichtsorten ist der Würfel, der uns weiß erscheint, ein Zwischensender? Warum?
- Für welche Lichtsorten ist er ein Energiewandler? Warum?

## Was empfangen wir, wenn wir einen Gegenstand schwarz wahrnehmen?

Du nimmst einen Gegenstand **schwarz** wahr, wenn vom Gegenstand **alle Lichtsorten des Sonnenlichts aufgenommen** werden. Es gelangt kein Licht in unser Auge. Um dir das besser vorstellen zu können, schau dir Abb. 6 an.

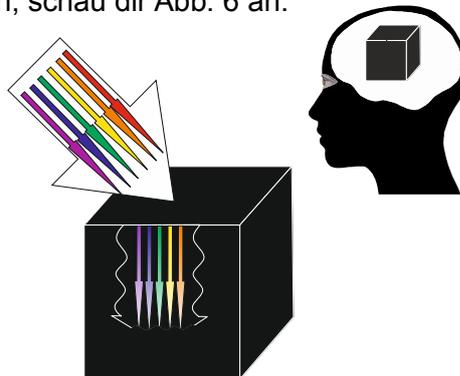


Abb. 6: Wenn alle Lichtfarben fast zur Gänze von einem Körper aufgenommen werden, erscheint er uns schwarz.

### Aufgabe 2:

- Für welche Lichtsorten ist der Würfel, der uns schwarz erscheint, ein Zwischensender? Warum?
- Für welche Lichtsorten ist er ein Energiewandler? Warum?

### Frage für Expert/innen 1:

Wir können Gegenstände, die alle Lichtsorten aufnehmen, eigentlich gar nicht sehen. **VON NIX KOMMT NIX**. Warum können wir trotzdem wahrnehmen, dass ein schwarzer Würfel am Tisch liegt?

### Frage für Expert/innen 2:

Vielleicht ist dir schon mal der Satz untergekommen „Schwarz verschluckt das ganze Licht.“ In der Bildunterschrift in Abb. 6 (S. 37) steht aber „alle Lichtfarben **fast** zur Gänze“. Das heißt, dass nicht die gesamte Energie, die im Licht steckt, in innere Energie des schwarzen Körpers umgewandelt wird.

Lass dir ein Experiment einfallen, bei dem man sehen kann, dass schwarze Gegenstände Licht nicht „total verschlucken“. Verwende dazu verschiedene Lichtsender.

## Die Beleuchtung macht den Unterschied - Gegenstände in farbigem Licht

Du weißt schon, dass der **Farbeindruck**, den wir von einem Gegenstand haben davon **abhängt**, für welche **Lichtsorte** er ein **Zwischensender** ist. Bisher haben wir die Gegenstände immer mit weißem Licht, das alle Regenbogenfarben enthält, beleuchtet. In diesem Kapitel wirst du wahrscheinlich eine Überraschung erleben. Wir Menschen sind es nämlich **gewöhnt, alle Gegenstände in weißem Licht zu betrachten**. Doch was passiert, wenn du einen Gegenstand mit farbigem Licht beleuchtest? Auf diese Frage wirst du gleich eine Antwort finden.

### Zu Beginn führe folgenden Versuch durch:

- Beleuchte verschiedenfarbige Buntstifte mit einer Rotlichtlampe. Zähle die Farben der Stifte nach einander auf.
- Beleuchte nun die Buntstifte mit der Taschenlampe. Halte die grüne Folie vor die Taschenlampe. Zähle die Farben der Stifte nach einander auf. Beschreibe was dir auffällt.
- Hast du eine Vermutung für deine Beobachtung? Welche?
- Zeichne den Lichtwege für beide Beispiele von der Glühbirne bis in dein Auge.

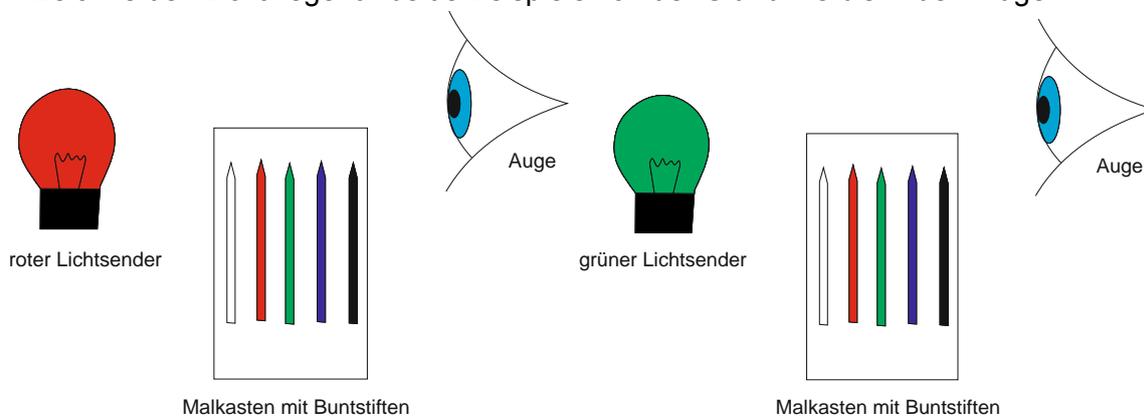


Abb.7: Buntstifte werden mit rotem und grünem Licht beleuchtet

Wir haben ja schon gehört, dass **Gegenstände** immer **nur für bestimmte Lichtsorten Zwischensender** sind. Für welche, hängt vom Material des Körpers ab. Gegenstände haben in weißem Licht (Tageslicht, Glühbirne, ...) daher immer dieselbe Farbe. Beleuchtet man die Gegenstände jedoch mit anderen Lichtsorten, können sie plötzlich in einer anderen Farbe erscheinen.

Welchen **Farbeindruck** wir von einem Gegenstand haben, hängt also von **2 Faktoren** ab:

1. Für **welche Lichtsorte** der Körper ein **Zwischensender** ist.
2. Mit **welchen Lichtsorten** der Körper **beleuchtet** wird. Schließlich kann der Körper nur die Lichtfarben wieder abstrahlen, die bei ihm angekommen sind. **VON NIX KOMMT NIX.**

Ein Gegenstand kann in z.B. blauem Licht in einer anderen Farbe erscheinen als z.B. in rotem Licht oder in Sonnenlicht. **Farbe** ist also **keine Eigenschaft des Gegenstands allein!**

Wir wollen uns das mit den Farben von Gegenständen noch einmal genauer an einem Beispiel ansehen.

Wir beleuchten einen **Apfel**, der in der Sonne rot erscheint, mit **blauem Licht**. Der Apfel erscheint dir dann schwarz. Warum? Überlege dir Folgendes:

- Für welche Lichtsorte ist ein Apfel, der im Sonnenlicht rot ist, ein Zwischensender?
- Mit welcher Lichtsorte wird der Apfel beleuchtet?
- Welchen Teil vom einfallenden Licht kann der Apfel wieder weiterstrahlen?

**Die vollständige Erklärung geht so: Bist du draufgekommen?**

Die Schale des Apfels kann nur die rote Lichtsorte abstrahlen, er ist nur ein Zwischensender für die rote Lichtsorte. Wenn der Apfel mit blauem Licht beleuchtet wird, nimmt die Schale das blaue Licht auf. Im **blauen Licht ist kein roter Lichtanteil**. Der Apfel ist ein Energiewandler für alle NICHT-roten Lichtsorten und wandelt so auch blaues Licht in innere Energie um. Der Apfel kann daher auch **kein Licht** abstrahlen. Das bedeutet, der Apfel erscheint uns **schwarz**. – **VON NIX KOMMT NIX!**

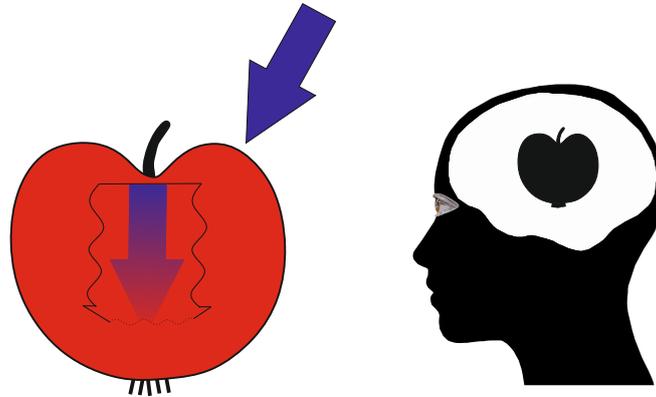


Abb.8: Der Apfel nimmt den blauen Lichtanteil auf, kein Licht gelangt ins Auge. Wir nehmen den Apfel schwarz wahr.

Die unten stehende Graphik soll dir helfen, herauszufinden welche Farbpartikel Zwischensender für welche Lichtfarben sind. Damit kannst du dann leicht ermitteln, welcher Farbeindruck entsteht, wenn bestimmte Farbpartikel mit einer bestimmten Lichtsorte beleuchtet werden.

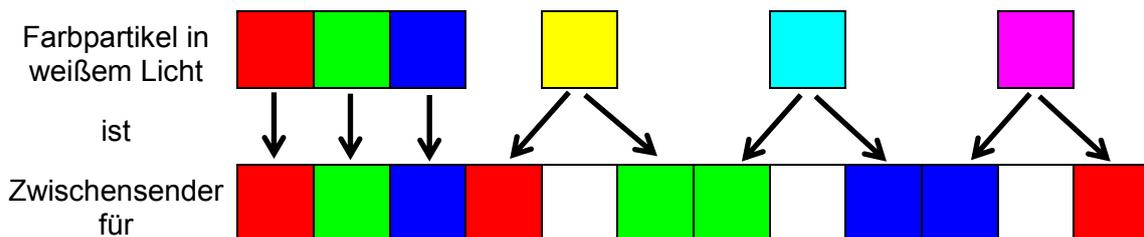
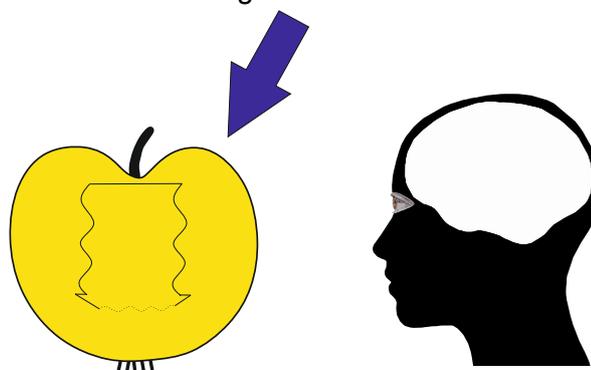


Abbildung 9: Überblick über Zwischensender

**Arbeitsauftrag 1:**

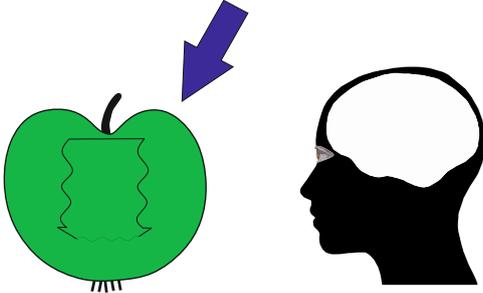
In den folgenden Bildern siehst du verschiedene Äpfel, die mit farbigem Licht beleuchtet werden. Zeichne einen entsprechenden farbigen Pfeil (vom Apfel weg) ein, wenn Licht abgestrahlt wird. Zeichne zusätzlich ein, welche Farbe der Beobachter wahrnimmt (Gedankenblase).

a) Dieser Apfel erscheint im Sonnenlicht gelb. Er wird blau beleuchtet.

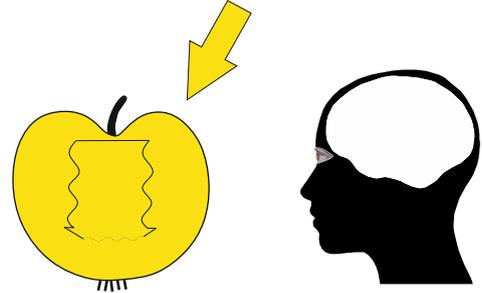


**Hinweis:** Nutze die Aufstellung in Abb. 9. Schau nach, für welche Lichtfarben gelbe Farbpartikel Zwischensender sind. Dann stelle fest, ob der Apfel für die Lichtfarbe, mit der er bestrahlt wird, überhaupt ein Zwischensender ist.

b) Dieser Apfel erscheint im Sonnenlicht grün.  
Er wird blau beleuchtet.



c) Dieser Apfel erscheint im Sonnenlicht gelb.  
Er wird gelb beleuchtet.



### Arbeitsauftrag 2:

Auf den Boden einer weißen Schachtel wird einmal ein blaues und einmal ein rotes Blatt gelegt und von oben mit einer Taschenlampe mit weißem Licht beleuchtet. Du siehst links wie durch die Streuung ein blauer bzw. roter Farbeindruck der weißen Schachtelwände entsteht. Überlege welche Farbe die Farbpartikel am Blatt in der rechten Abbildung haben können. (Lösung S. 93)



**Die Beleuchtung macht den Unterschied** – darüber hast du nun einiges gehört. Aber sind das nur verblüffende physikalische Effekte, oder ist das auch **im Alltag wichtig**?

Mit Beleuchtung und Beleuchtungseffekten wird in vielen Bereichen gearbeitet, sie sind aus dem heutigen Alltagsleben gar nicht mehr wegzudenken.

### Arbeitsauftrag 3:

Sammelt in einer Gruppe möglichst viele Bereiche, in denen Beleuchtung bzw. Beleuchtungseffekte bewusst eingesetzt werden.

### Arbeitsauftrag 4:

Beleuchtung wird auch bewusst in Supermärkten eingesetzt. Dabei geht es gar nicht so sehr darum, dass die Räume gut ausgeleuchtet werden, sondern darum die Waren „im besten Licht“ zu präsentieren.

- Recherchiert wie Obst und Fleisch „ins rechte Licht“ gesetzt werden?
- Was hat das mit unserem Thema zu tun?

### Arbeitsauftrag 5:

Du siehst 6 verschiedene Felder, die im Sonnenlicht 6 verschiedene Farbeindrücke auslösen. In Abb. 5 sind diese Farbfelder einmal mit roter und einmal mit grüner Lichtfarbe beleuchtet.

- Welche Felder könnten bei Sonnenlicht rot erscheinen? Kann man das eindeutig feststellen? Begründe deine Entscheidung.
- Welche Felder könnten bei Sonnenlicht grün erscheinen? Begründe deine Entscheidung.
- In welcher Farbe erschien das oberste Feld (Pfeil), wenn es mit Sonnenlicht beleuchtet wird? (Lösung S. 93)

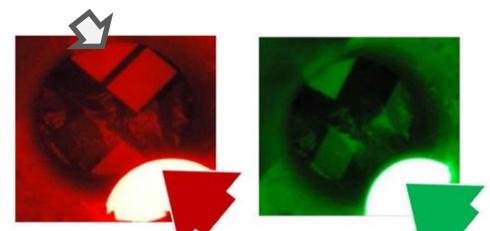


Abb.10:Felder mit roter und grüner Beleuchtung

## VIII. Wo Licht ist, ist auch Schatten

Wir wissen jetzt was passiert, wenn Licht auf einen Gegenstand trifft und weitergestrahlt wird. Nun wollen wir uns aber Gedanken darüber machen, welche anderen Phänomene noch auftreten können, wenn Licht auf einen Gegenstand trifft.

### **Der Schattenraum eines punktförmigen Senders**

Du weißt bereits: Licht breitet sich **geradlinig nach allen Seiten** aus. Was passiert, wenn wir ein Hindernis in den Lichtstrom eines Selbstsenders bringen? Dieses Hindernis wirkt als „Schattensender“. Ein **Schattenraum** entsteht. Das ist der Raum, in dem Licht des Senders fehlt. Wir beleuchten einen Holzklötz mit einer LED\* und versuchen festzustellen, wo der Schattenraum ist und welche Form er hat. Die LED ist ein fast **punktförmiger Selbstsender**, weil das **Licht an einer winzig kleinen Fläche** erzeugt und abgestrahlt wird.

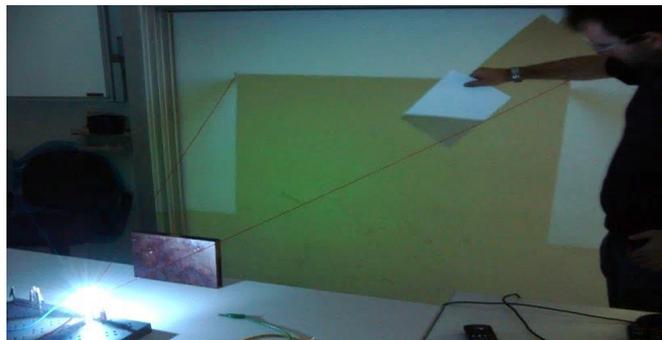


Abb. 1: Eine kleine LED beleuchtet den Raum. Hinter dem Holzklötz bildet sich ein Schattenraum.

Betrachte die Wand hinter dem Holzklötz (siehe Abb. 1). Du siehst, dass ein Teil der Wand dunkler ist. Hier fehlt das Licht der LED. Die Lehrkraft hat Schnüre vom Rand der dunklen Fläche zur LED gespannt. Weil sich das Licht **geradlinig ausbreitet**, grenzen die Schnüre auch den Schattenraum ein. Mit einem Stück Papier kann die Lehrkraft die **Grenzen des Schattenraums** überprüfen. Du siehst, dass das Blatt Papier innerhalb des Schattenraums dunkler erscheint (siehe Abb. 1).

Warum können wir im Schattenraum das Blatt überhaupt sehen, wenn dort „kein Licht“ hinkommt? **VON NIX KOMMT JA NIX!** Das funktioniert so: Licht kann nicht nur direkt von der LED kommen. Gegenstände im Raum strahlen das Licht der LED in alle Richtungen weiter. So kommt **Streulicht von anderen Gegenständen** in den Schattenraum. Dieses Streulicht beleuchtet den Schattenraum. So kann das Blatt zumindest ein wenig Licht in unsere Augen strahlen.

#### Arbeitsauftrag:

a) Kannst du, wenn du im Schattenraum bist, die LED sehen? Gehe selbst in den Schattenraum und überprüfe.

1) Meine Vermutung:

Meine Begründung:

2) Meine Beobachtung:

Meine Begründung:

b) In Abb. 2 siehst du jeweils eine LED und ein Hindernis dargestellt. Konstruiere den passenden Schattenraum. Denke daran, Licht breitet sich geradlinig aus.

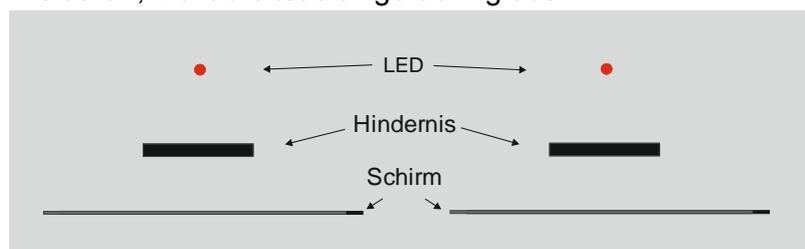


Abb. 2: Eine LED beleuchtet ein Hindernis.

\*Licht emittierende Diode (LED)

## Der Schattenraum eines flächigen Lichtsenders

Was ist ein Schatten? Hat das was mit dem Schattenraum zu tun, den wir gerade besprochen haben? Ein Schatten entsteht, wenn sich eine Fläche, wie ein Blatt Papier, teilweise in einem Schattenraum befindet. Der dunklere **Bereich auf dieser Fläche** wird meistens als **Schatten, Schattenbild oder Schattenprojektion** bezeichnet. Je nachdem wo du nachschaust, wirst du diese Bezeichnungen unterschiedlich verwendet finden. Wir wollen **Schattenraum** für den dreidimensionalen Raum verwenden und **Schattenbild** für die flächige Figur. **Schatten** meint beides zusammen.



Das Foto zeigt den Schatten einer Packung Brausetabletten unter einer Leuchtstoffröhre (siehe Abb. 1). Die Leuchtstoffröhre ist eine lange, leuchtende Fläche. Du siehst, dass die Grenzen des Schattens nach rechts und links „verschmiert“ und nicht scharf sind. Stell dir vor, dass eine **leuchtende Fläche** aus **lauter kleinen punktförmigen Selbstsendern** besteht. Für jeden dieser Sender kannst du den Schattenraum finden. Der „Gesamtschatten“ ergibt sich aus den einzelnen Schattenräumen der vielen, kleinen Sender zusammen. Wir wollen uns jetzt Schritt für Schritt überlegen, wie der Schattenraum einer leuchtenden Fläche entsteht.

Abb. 1: Schatten unter einer Leuchtstoffröhre

Betrachte zuerst den Schattenraum von zwei punktförmigen Selbstsendern (siehe Abb. 2a):

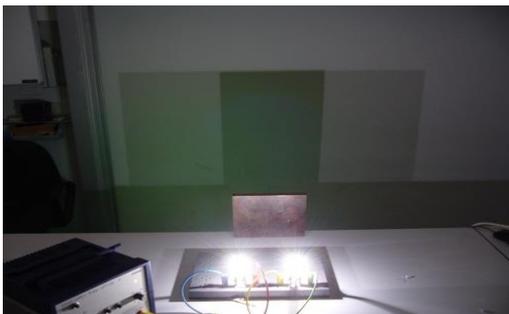


Abb. 2a: Der Schatten eines Holzklotzes, wenn er von 2 LEDs beleuchtet wird.

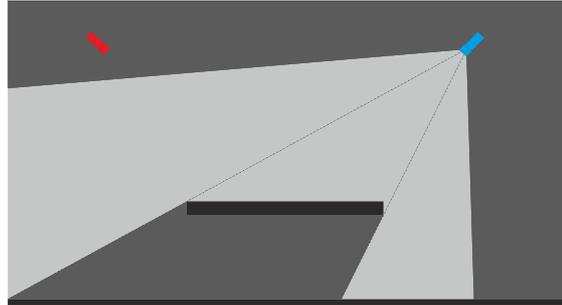


Abb. 2b: So sieht der Schattenraum aus, wenn nur die rechte LED leuchtet.

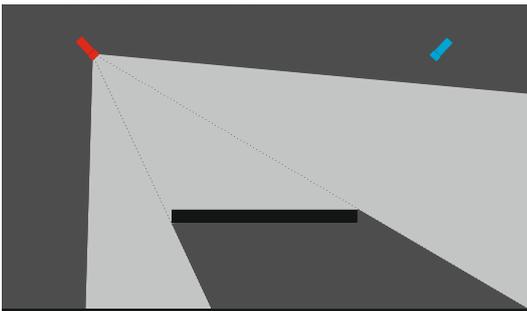


Abb. 2c: So sieht der Schattenraum aus, wenn nur die linke LED leuchtet.

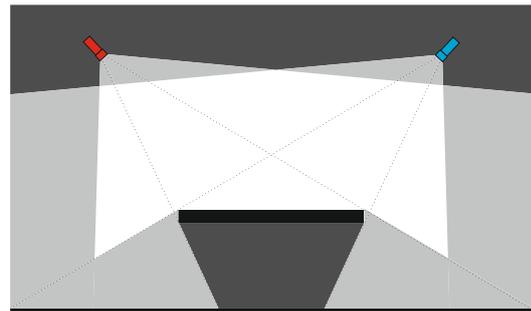


Abb. 2d: So sieht der gemeinsame Schattenraum von rechter und linker LED aus. Mit Kernschatten und aufgehelltem Halbschatten.

Abb. 2a zeigt das Foto **eines Schattens von zwei LEDs**. Das kannst du dir wie folgt erklären:

- In **Abb. 2b** siehst du den Schattenraum, der entsteht, wenn **nur eine LED** leuchtet.
- In **Abb. 2c** siehst du den Schattenraum **für die andere LED allein**.
- **Abb. 2d** zeigt dir, wie der Schattenraum aussehen muss, **wenn beide LEDs eingeschaltet** sind. Ein großer Teil des Raumes ist jetzt heller, weil das Licht beider LEDs dort hinkommt. Du weißt ja: **Licht ist anders**. Direkt hinter dem Hindernis kommt von keinem der beiden Selbstsender Licht an. Dieser **besonders dunkle** Bereich heißt **Kernschatten**. Im Randbereich des Schattenraums kommt nur Licht von einer LED an. Dieser Bereich heißt **Halbschatten**. An der Wand siehst du dann die einfachste Form der Abstufung eines Schattens.

Nun überlegen wir uns, wie der **Schatten für mehrere punktförmige Selbstsender** aussieht:



Abb. 1: Schatten eines Zeigestabes, der von mehreren LEDs beleuchtet wird

In Abb. 1 siehst du den Schatten eines Zeigestabes, wenn er mit einem LED Spot beleuchtet wird. Der LED Spot besteht aus vielen, kleinen leuchtenden LEDs.

Die feinen Abstufungen im Schatten kommen daher, dass der Zeigestab jeweils eine unterschiedliche Zahl von LEDs verdeckt. In der Mitte des Schattens sind die meisten LEDs verdeckt, daher ist es dort am dunkelsten.

Der Randbereich des Schattens sieht schon fast verschwommen aus. Vergleiche dieses Foto mit dem Foto in Abb. 1 auf Seite 42.

Du musst dir vorstellen, dass ein flächiger Lichtsender aus unzählbar vielen kleinen Lichtsendern besteht. Daher gibt es noch mehr Abstufungen des Schattens. Für unser Auge entstehen dann fließende Übergänge wie bei der Beleuchtung mit einer Leuchtstoffröhre in Abb. 1 S.42.

## Die Sonnenfinsternis

Auch eine Sonnenfinsternis entsteht durch einen Schatten: **VON NIX KOMMT NIX**. Eine totale Sonnenfinsternis tritt ein, wenn der Mond Sonnenlicht so abschirmt, dass es nicht auf die Erde strömen kann (siehe Abb. 2). In Abb. 3 siehst du, dass der Mond bei einer Sonnenfinsternis zwischen Sonne und Erde ist und als Schattenspendler fungiert. Ein kleiner Teil der Erdoberfläche befindet sich dabei im Kernschatten des Mondes. Eine Sonnenfinsternis gibt es jedoch relativ selten, weil die Bahnebene des Mondes gegenüber der Bahnebene der Erde um ungefähr 5° geneigt ist (siehe Abb. 4<sup>xiii</sup>). Pro Jahr können weltweit höchstens 5 Sonnenfinsternisse stattfinden (Durchschnitt: 2-3).



Abb. 2: So sieht eine totale Sonnenfinsternis aus.

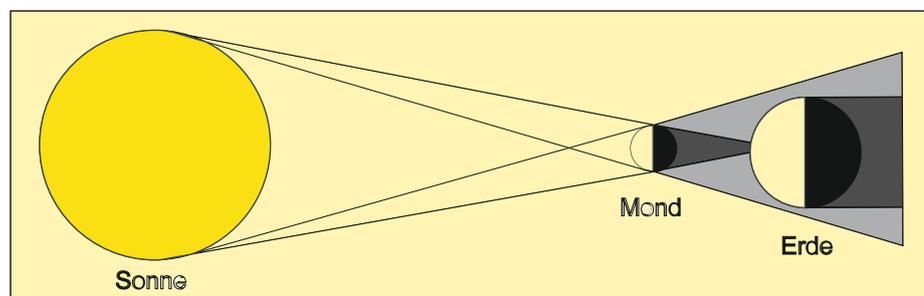


Abb. 3: Position von Sonne, Erde und Mond bei einer Sonnenfinsternis. Die Darstellung ist nicht maßstabsgetreu. Die Schatten sind vereinfacht dargestellt.

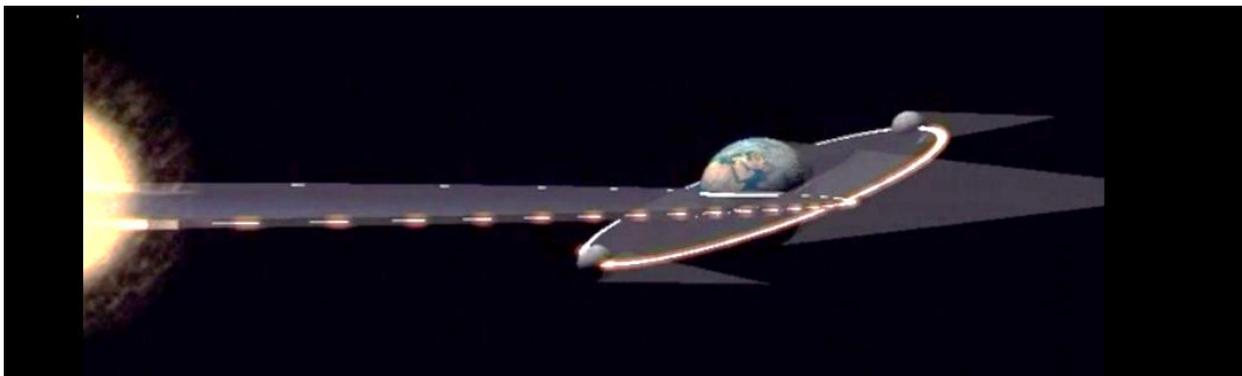


Abb. 4: Wenn sich der Mond zwischen Erde und Sonne befindet, tritt nicht immer eine Sonnenfinsternis bzw. Mondfinsternis ein.

## Die Mondfinsternis

Die Mondfinsternis entsteht ebenfalls durch Schattenbildung: **VON NIX KOMMT NIX**. Der Mond verfinstert sich, weil er sich bei einer Mondfinsternis im Schattenraum der Erde befindet (siehe Abb. 1). Weil die Bahnebene des Mondes geneigt ist, kommt es ebenfalls relativ selten zu einer Mondfinsternis. Weltweit finden höchstens zwei Mondfinsternisse pro Jahr statt.

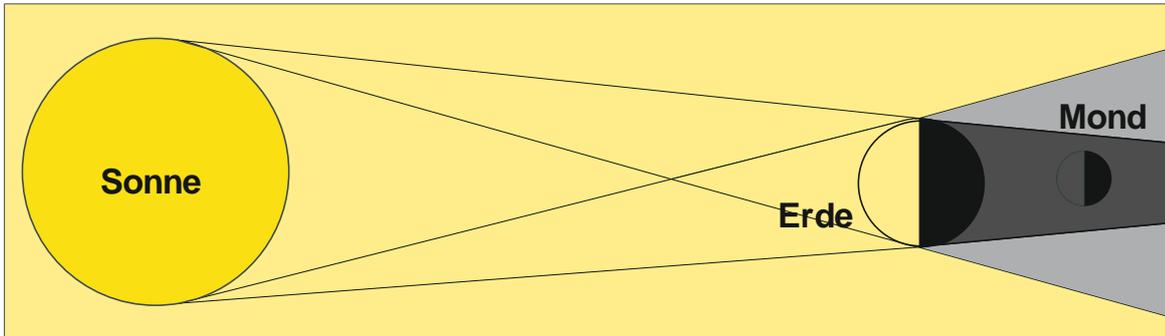


Abb. 1: Position von Sonne, Erde und Mond bei einer Mondfinsternis. Die Darstellung ist nicht maßstabsgetreu. Die Schatten sind vereinfacht dargestellt.

## Aufgaben

- 1) Hier findest du einen Link zu dem Video (<https://vimeo.com/9082373>), das dir die Finsternisse noch einmal erklärt. Sieh dir dieses Video etwa ab Minute 5 an und beschreibe was dargestellt ist. Der Text soll so geschrieben sein, dass ein/e Schüler/in aus der ersten Klasse verstehen kann, wie diese Finsternisse entstehen.
- 2) Karl, Ferdinand und Maria-Theresia gehen abends nach Hause. Während sie gerade hinter einer Plakatsäule vorbeigehen, leuchten die Scheinwerfer eines Autos in ihre Richtung.
  - a) Wer von den dreien wird von zwei Scheinwerfern beleuchtet?
  - b) Wer von den dreien wird am schwächsten beleuchtet? Begründe!

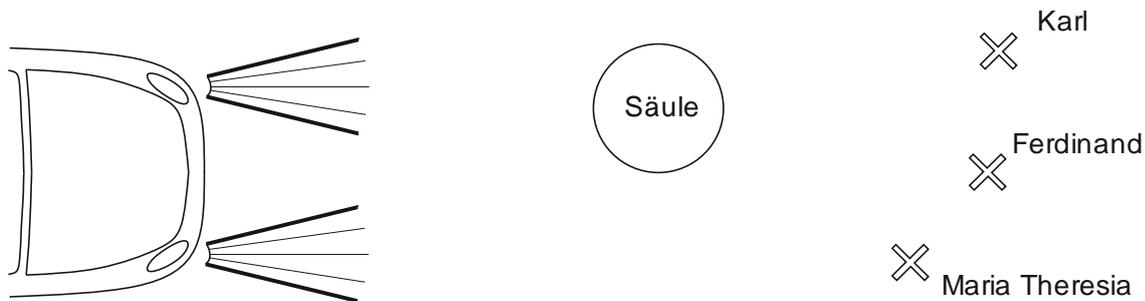


Abb. 2: Karl, Maria-Theresia und Ferdinand von oben betrachtet.

- 3) Die Höhe eines Kamins soll aus der Schattenlänge bestimmt werden (s. Abb. 3). Dazu vergleicht man das Schattenbild des Kamins mit dem Schattenbild eines 1 m langen, vertikalen Stabes. Wie hoch ist der Kamin, wenn sein Schattenbild 60 m lang ist und das des Stabs 1,2 m lang ist? Fertige eine Skizze an.

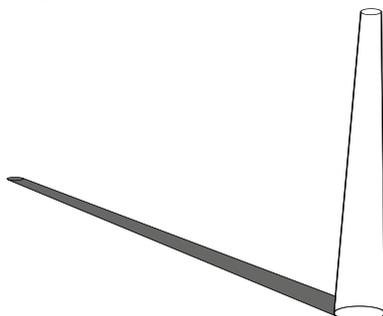


Abb. 3: Das Schattenbild dieses Kamins ist 60 m lang.

- 4) Konstruiere den Schattenraum in Abb.1. Betrachte die Glühwendeln der Glühbirnen als punktförmigen Selbstsender.



Abb. 1: Ein Hindernis wird von zwei Glühbirnen beleuchtet.

- 5) Die Leuchtstoffröhre als Beleuchtungsquelle:  
 a) In welchem Bereich hinter dem Hindernis ist es besonders dunkel?  
 b) In welchem Bereich hinter dem Hindernis ist es besonders hell?



Abb. 2: Ein Hindernis wird von einer Leuchtstoffröhre beleuchtet.

- 6) Überlege: Welche Mondphase muss vorliegen, wenn:  
 a) Mondfinsternis  
 b) Sonnenfinsternis eintritt? (Sieh dir dazu, wenn nötig, den Film nochmal an.)
- 7) Welches Bild stellt eine Mondphase dar? Welches Bild<sup>xiv,xv</sup> stellt eine teilweise Mondfinsternis dar? Begründe!



Bild A



Bild B

## IX. Abbildungen I: Das Bild der Lochkamera

### Wie macht die Lochkamera ein Bild?

Du hast bereits eine Lochkamera gebastelt. Du wirst jetzt erfahren, wie die Bilder am Schirm der Lochkamera entstehen.

Stell dir vor, dass ein leuchtender Gegenstand aus **vielen kleinen Selbstsendern** besteht. Diese kleinen Sender nennen wir **Leuchtflecke**. Das Prinzip der Leuchtflecke kennst du vielleicht schon von Handydisplays. Mit einem Vergrößerungsglas kannst du diese Leuchtflecke am Handy, die Pixel, gut erkennen.



Abb. 1: Ein LED Spot

Mit der Hilfe eines LED Spots wirst du jetzt erfahren, was die Lochkamera mit diesen Leuchtflecken tut. Der LED Spot besteht aus mehreren kleinen LEDs (Abb.1<sup>xvi</sup>). Die LEDs sind jetzt unsere Leuchtflecken. Alle LEDs bilden zusammen eine größere leuchtende Fläche.

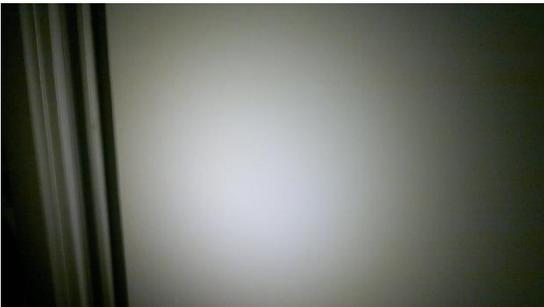


Abb. 2: Der Lichtfleck von einem LED Spot

Das Foto nebenan zeigt dir, was passiert, wenn der LED Spot auf eine Wand strahlt (siehe Abb. 2). Du siehst einen großen Lichtfleck an der Wand. Du kannst an der Wand nicht erkennen, welche Form der Lichtsender hat. An der Wand ist kein Bild der kleinen LEDs sichtbar, sondern nur ein großer, heller Fleck.

In Abb. 3 siehst du, was passiert, wenn deine Lehrkraft eine Scheibe mit einer **kleinen Öffnung** in den Lichtkegel des Spots stellt. So eine Scheibe bezeichnet man als **Blende**. Die Blende hält den Großteil des Lichts ab und erzeugt dadurch einen Schatten an der Wand. In diesem Schatten kannst du kleine Lichtflecken erkennen. Diese entstehen durch die schmalen Lichtbündel, die durch die Blendöffnung strömen.

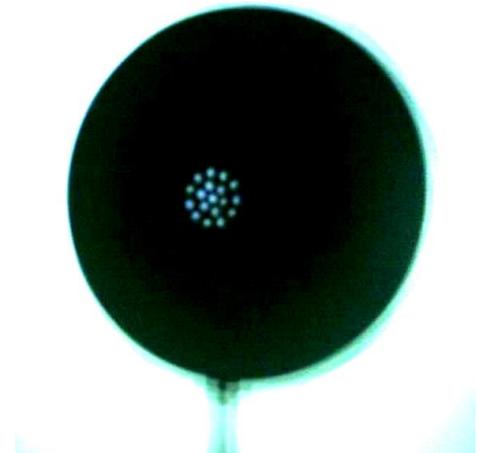


Abb. 3: Der LED Spot leuchtet durch eine Blende

#### Arbeitsauftrag 1:

Beschrifte in Abb. 3 den Schatten und die Lichtflecke.  
Woher glaubst du, kommen die Lichtflecke?

Wenn du die Lichtflecke mit dem LED Spot vergleichst, wirst du feststellen: es sind gleich viele Lichtflecken, wie der Spot LEDs hat. Diese Lichtflecken sind die **Abbildungen der einzelnen LEDs**. Du siehst in Abb. 3 also ein sehr einfaches Bild von jedem einzelnen LED Spot.

#### Arbeitsauftrag 2:

Deine Lehrkraft deckt jetzt einzelne Leuchtdioden (LEDs) des Spots ab. Ergänze die unten stehenden Sätze entsprechend:

Wenn eine LED (ein Leuchtfleck) auf der Unterseite des Spots abgedeckt wird, dann verschwindet ein heller Fleck an der.....des Bildes.

Wenn eine LED (ein Leuchtfleck) auf der rechten Seite des Spots abgedeckt wird, dann verschwindet ein heller Fleck auf der.....des Bildes.

Was kannst du allgemein über das Bild sagen?

## Was macht die Blende eigentlich?

Du siehst unten einen Selbstsender dargestellt, der nur aus zwei roten LEDs (also 2 Leuchtflecken) besteht. Von diesen LEDs strömt Licht in Form von zwei Lichtkegeln zur Wand (siehe Abb. 1):

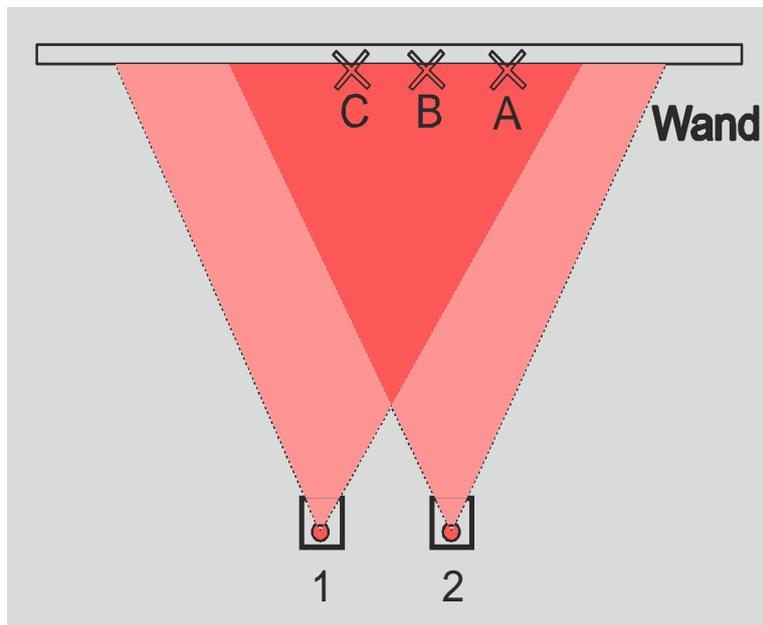


Abb. 1: Zwei rote LEDs beleuchten eine Wand.

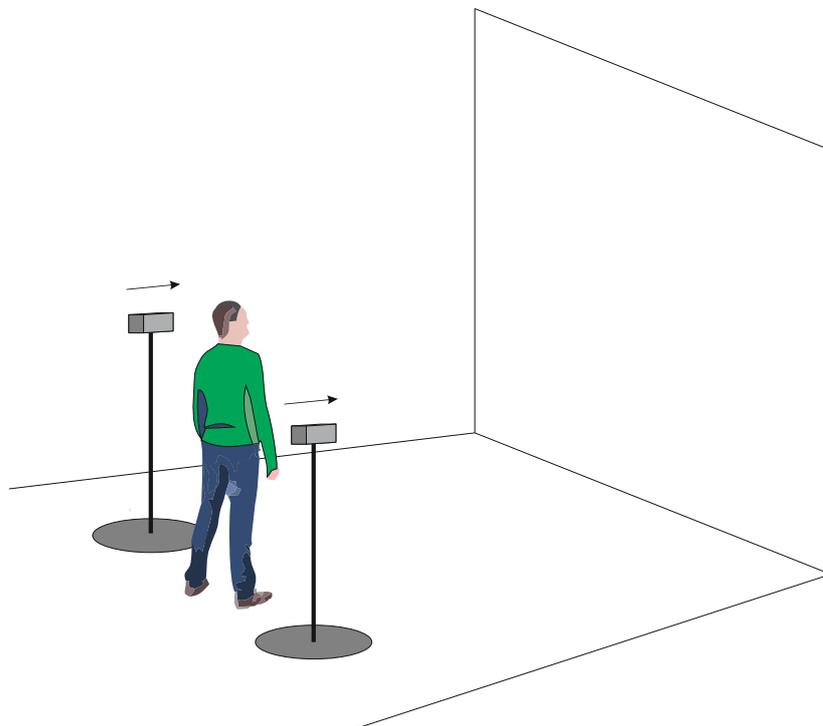
Wir betrachten 3 Punkte an der Wand (Punkt A, B und C). **Ohne Blende** kommt an den Punkten A, B und C das **Licht von beiden LEDs** an. An allen 3 Punkten streut die Wand daher die gleiche Lichtmenge wieder zurück.

Jemand der zur Wand sieht, kann nichts über die Form des Selbstsenders aussagen. Er nimmt alle 3 Punkte gleich wahr, weil von allen Punkten gleich viel Licht in seine Augen gestrahlt wird.

**VON NIX KOMMT NIX.**

### Arbeitsauftrag 1:

Was siehst du an der Wand, wenn du zwischen den beiden LEDs in Abb. 1 stehst? Zeichne es in die Skizze ein.



In Abb. 2 steht jetzt eine **Blende** zwischen der **Wand** und den **LEDs**. Du kannst dir eine Blende als eine Wand vorstellen, die nur ein kleines Loch in der Mitte hat. Die Blende lässt nur einen kleinen Teil des Lichts durch. Man kann sagen, sie schneidet aus dem Licht einer LED einen schmalen Lichtkegel heraus. Von LED 1 kommt Licht nur im Bereich um Punkt A an. Licht von LED 2 kommt nur rund um C an. Daher strahlt z.B. der helle Fleck in A nur Licht von der LED 1 weiter.

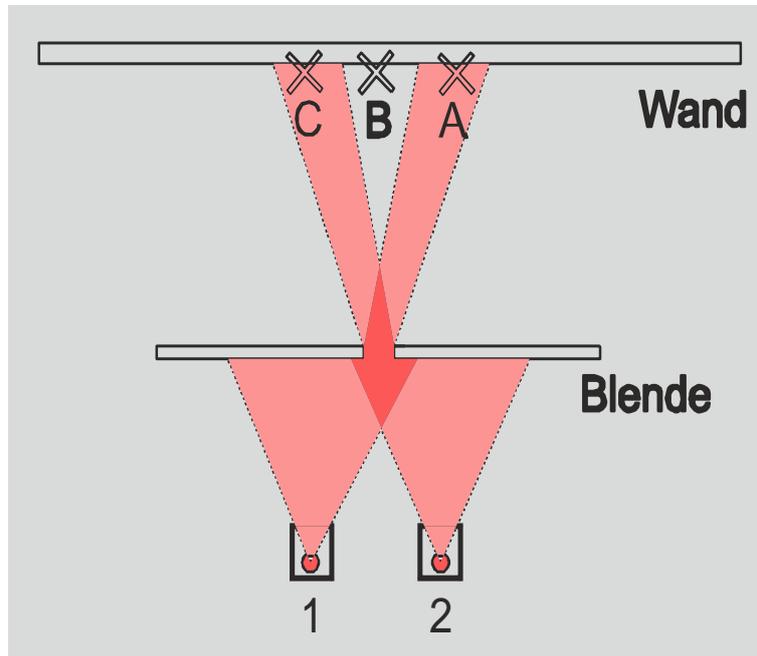
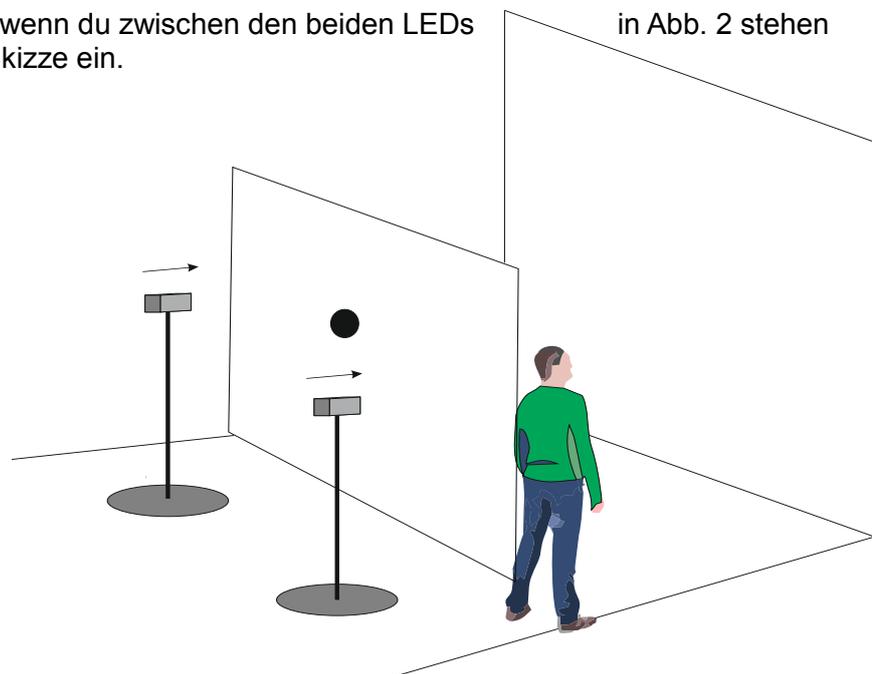


Abb. 2: Eine Blende befindet sich zwischen Wand und Leuchtflecken. Sie schneidet schmale Lichtkegel aus.

Wenn nun wieder jemand zur Wand sieht, dann sieht er bei A einen kleinen Lichtfleck. Das Licht der LED 1 wird in A von der Wand in sein Auge gestreut. Ein Beobachter sieht also in A eine **Abbildung des linken Leuchtflecks (LED 1)**. Am **Punkt B** kommt **kein Licht** an. B kann daher auch kein Licht streuen. Der Punkt B sieht für einen Beobachter dunkel aus. - **VON NIX KOMMT NIX**. Am **Punkt C** kommt das **Licht der LED 2** an. Von dort wird dieses Licht zum Beobachter weitergesendet. Der Beobachter sieht an der **Stelle C die Abbildung der LED 2**. Nun kann ein Beobachter die Bildpunkte A, B und C voneinander unterscheiden und den Selbstsendern LED 1 und LED 2 zuordnen.

#### Arbeitsauftrag 2:

Was siehst du an der Wand, wenn du zwischen den beiden LEDs würest? Zeichne es in die Skizze ein.



Ein **Lichtsender** besteht aus sehr **vielen, kleinen Leuchtflecken**. Die Blende schneidet für jeden Leuchtfleck einen schmalen Lichtkegel aus. Jeder **Lichtkegel beleuchtet einen Fleck** an der Wand. Es entsteht also **zu jedem Leuchtfleck EIN passender farbiger Fleck** an der Wand. Wir nennen diese hellen Flecken ab jetzt **Bildflecken**, weil sie das Bild des Leuchtflecks sind. Durch die Lochblende haben wir also eine **Abbildung von Leuchtfleck zu Bildfleck**. Alle Bildflecken zusammen ergeben dann wieder das gesamte Bild des Gegenstandes. Und wieder bewahrheitet sich unser Optikleitsatz: **VON NIX KOMMT NIX**.

Erinnere dich nun an die **Lochkamera**, die du vor einiger Zeit gebastelt hast. Mit der Lochkamera funktioniert das ganz ähnlich. Das Objekt, das du mit der Lochkamera betrachtest, besteht ebenfalls aus kleinen Lichtsendern. Die Leuchtflecke (also diese kleinen Lichtsender) werden durch das Loch der Lochkamera (Blende) als Lichtflecke am Schirm der Lochkamera abgebildet.

Überlege:

Wie ist das, wenn du mit der Lochkamera einen Zwischensender ansiehst? Wo sind da die Lichtsender bzw. die Leuchtflecke? Erkläre!

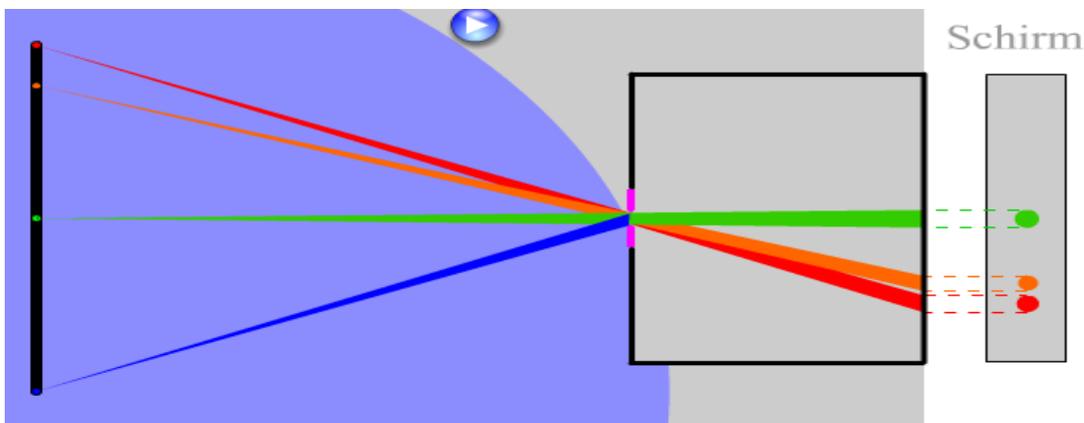


Abb.3: Bildentstehung bei einer Lochkamera.

In Abb. 3<sup>xvii</sup> siehst du ein Applet, das den Abbildungsvorgang durch die Lochkamera noch einmal erklärt. Als Lichtsender haben wir hier verschiedenfarbige LEDs. Durch die Blende **laufen gleichzeitig die verschiedenen Lichtkegel**, die von den LEDs ausgehen. Diese **Lichtkegel stören sich dabei gegenseitig nicht**. Verschiedene Lichtsorten können gleichzeitig am selben Ort sein. Erinnere dich, wir haben schon gesehen, dass Licht hier **andere Eigenschaft hat als materielle Körper**: Licht ist anders. Das Bild eines Leuchtflecks ändert seine Farbe und Helligkeit nicht, wenn sich der Lichtkegel in der Blende mit anderen Lichtkegeln überlagert.

Überlege (für Fortgeschrittene):

Wie kann man am Bild des LED Spots überprüfen, ob sich die Lichtkegel der LEDs gegenseitig beeinflussen? Überlege dir dazu ein Experiment.

## Wo ist das Bild?

Bei der Lochkamera können wir einen einfachen Abbildungsvorgang gut nachvollziehen. Wovon hängt es ab, wo du das Bild eines Gegenstandes am Schirm beobachten kannst? Das wollen wir nun untersuchen.

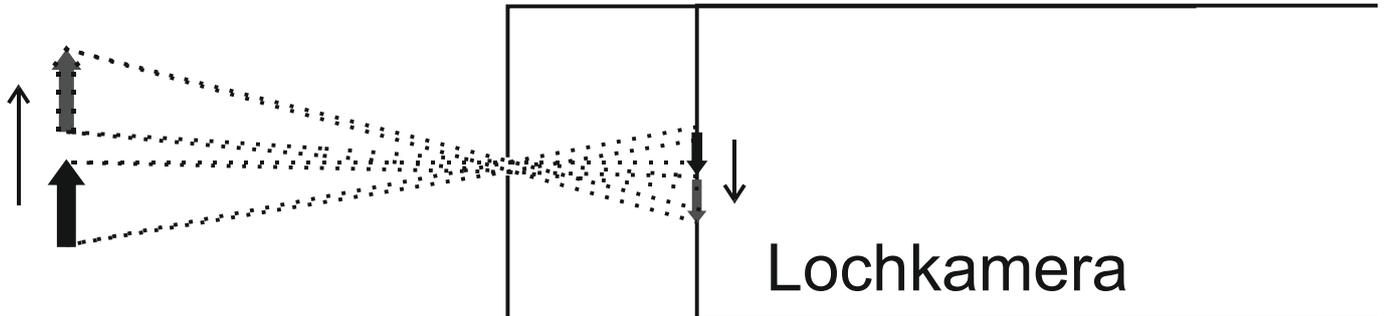


Abb.4: Der Ort des Bildes hängt davon ab, aus welcher Richtung das Licht durch die Blende strömt.

### Beobachte:

Bewege einen Selbstsender mit festem Abstand zur Lochkamera auf und ab.

- Wie verändert sich die Position des Bildes am Schirm?
- Warum ist das so?

Verschiebt sich der Gegenstand, so wandert sein Bild am Schirm (Abb. 4). Die **Einfallsrichtung** des Lichtes bestimmt den Bildort. Das ist auch beim menschlichen Auge so (Abb. 5):

Der Bildort auf der Netzhaut hängt von der Einfallsrichtung des Lichtes ab. Oder: Wir nehmen einen Punkt in der Richtung wahr, aus der das Licht ins Auge strömt. - **VON NIX KOMMT NIX.**

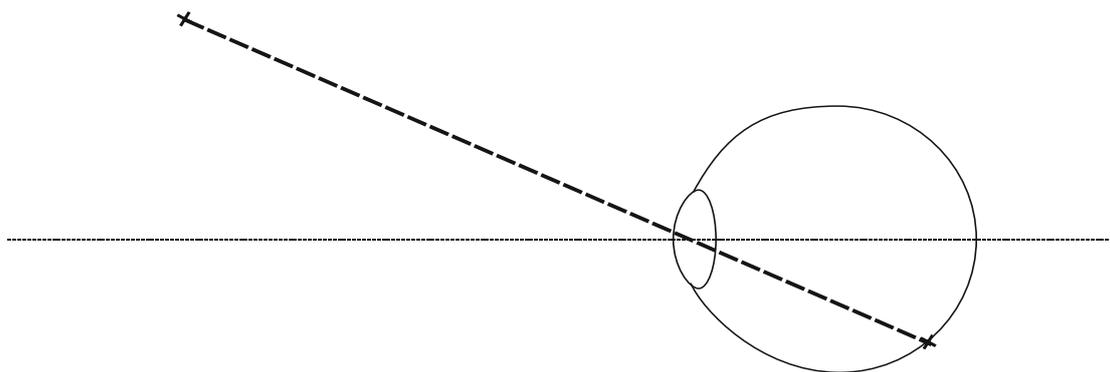


Abb. 5: Bildort und Lichtausbreitung

**Wir nehmen einen Gegenstand in der Richtung wahr, aus der Licht von diesem Gegenstand in unsere Pupille strömt.**

## Wie groß ist das Bild?

Erinnere dich an deine ersten Beobachtungen mit der Lochkamera. Du weißt, dass das Bild eines Gegenstandes unterschiedlich groß sein kann. Du lernst jetzt, wovon die Größe des Bildes bei der Lochkamera abhängt.

**Zuerst musst du folgende Größen kennenlernen:**

Gegenstandsgröße (G):	gibt die Größe des Gegenstandes an
Gegenstandsweite (g):	gibt die Entfernung des Gegenstands von der Blende an
Bildgröße (B):	gibt die Größe des Bildes an
Bildweite (b):	gibt die Entfernung des Bildes von der Blende an

Damit du die Größe des Bildes bestimmen kannst, brauchst du noch ein Hilfsmittel: Den **Lichtstrahl**. Ein Lichtstrahl ist ein sehr dünner Lichtkegel. Oder anders herum: Wir können uns einen Lichtkegel aus vielen Lichtstrahlen zusammengesetzt vorstellen. In Wirklichkeit gibt es so dünne Kegel nicht. Aber diese Vereinfachung soll helfen, Darstellungen von Lichtwegen übersichtlicher zu gestalten. Lichtstrahlen wirst du oft als **Stellvertreter eines großen Lichtkegels** verwenden. Sie helfen dir, das Verhalten eines ganzen Lichtkegels zu beschreiben und zu konstruieren. Damit vereinfachen wir die Beschreibung der Wirklichkeit durch die Verwendung des Modells Lichtstrahl.

### Arbeitsauftrag: 1

Du siehst unten, wie man mit Lichtstrahlen das Bild eines Pfeiles am Schirm konstruieren kann (siehe Abb. 1).

Wir betrachten zur Vereinfachung nur die Lichtkegel, die von Spitze und Ende des Pfeiles ausgehen. Wenn du weißt, wo die Spitze und das Ende des Pfeiles abgebildet werden, dann kannst du schon sagen, wie groß das Bild wird.

Damit die Konstruktion übersichtlich bleibt, zeichnen wir statt der Lichtkegel nur Lichtstrahlen ein. Du darfst aber nie vergessen, dass diese Darstellung nur eine Vereinfachung der Wirklichkeit ist.

- Welche Größen geben die Doppelpfeile an?
- Beschrifte sie mit den entsprechenden Größen!

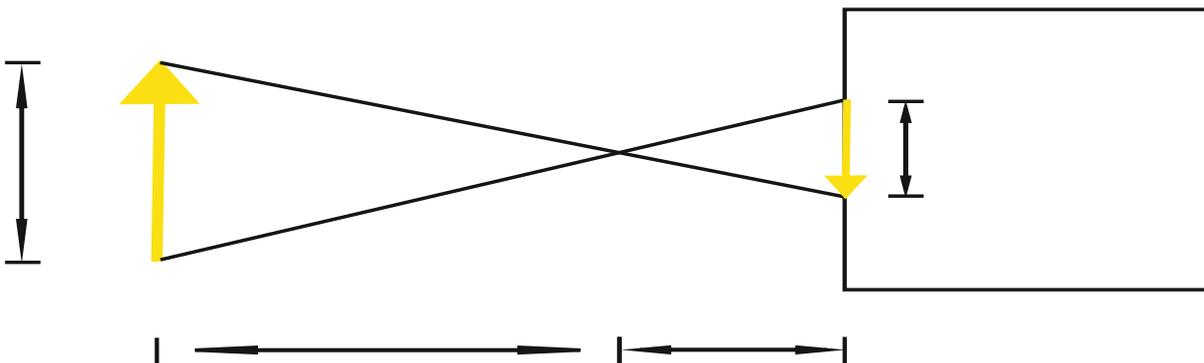


Abb.1: Konstruktion des Bildes mit Lichtstrahlen

### Arbeitsauftrag: 2

Drei verschiedene Leuchtpfeile werden mit der Lochkamera abgebildet (Abb. 2).

- Konstruiere jeweils die Bildgrößen.
- Miss die Werte von  $b$ ,  $g$ ,  $B$  und  $G$  aus und trage sie in die Tabellen ein.
- Berechne die Quotienten  $B/G$  und  $b/g$  und trage sie ebenfalls ein.
- Was fällt dir auf?

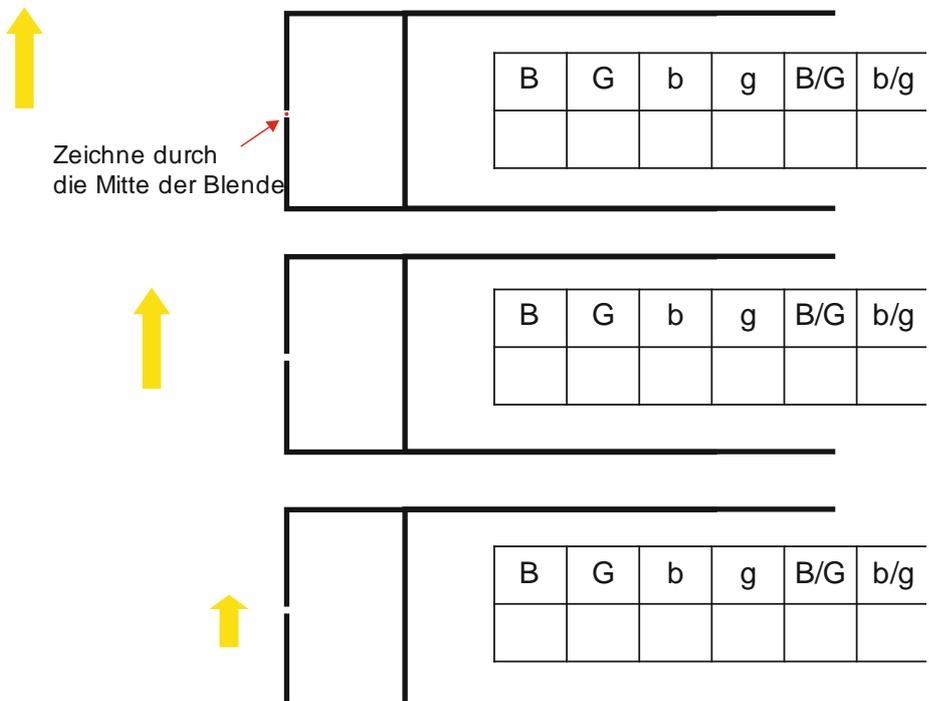


Abb.2: Abbildung eines Leuchtpfeils mit der Lochkamera

Du siehst:

**Das Verhältnis von Bildgröße  $B$  zu Gegenstandsgröße  $G$  ist gleich dem Verhältnis von Bildweite  $b$  zu Gegenstandsweite  $g$ . Oder:  $B/G = b/g$**

Dieses **Verhältnis  $B/G$**  bezeichnet man als **Abbildungsmaßstab  $A$** . Weil  $B/G = A$  folgt  $B = A \cdot G$ . **Der Abbildungsmaßstab gibt an, um wie vielfach das Bild größer als der Gegenstand ist.**

**Aufgaben:**

1. Was kannst du über die Größen des Bildes und des Gegenstandes sagen, wenn  $A=1$ ,  $A>1$  und  $A<1$  ist?

Der Abbildungsmaßstab ist 1, wenn das Bild .....

Der Abbildungsmaßstab ist größer als 1, wenn das Bild.....

Der Abbildungsmaßstab ist kleiner als 1, wenn das Bild.....

2. Was gilt für  $g$  und  $b$ ?

Wenn der Abbildungsmaßstab gleich 1 ist, gilt: Die Bildweite  $b$  ist.....

Wenn der Abbildungsmaßstab kleiner als 1 ist, gilt: Die Bildweite  $b$  ist.....

Wenn der Abbildungsmaßstab größer als 1 ist, gilt: Die Bildweite  $b$  ist.....

3. Wie musst du den Auszug deiner Lochkamera verschieben, um das Bild eines Gegenstandes zu vergrößern? Begründe.

4. Berechne:

$G = 3,5 \text{ cm}$       $g = 4,7 \text{ cm}$       $b = 6,2 \text{ cm}$

Gesucht: Bildgröße ( $B$ ) und Abbildungsmaßstab ( $A$ )

**Für Fortgeschrittene:**

Zita richtet ihre Lochkamera auf den Vollmond aus. Welche Bildgröße ist bei einer Entfernung von 30 cm zwischen Blende und Schirm zu erwarten? (Monddurchmesser ca. 3500 km, Entfernung Mond-Erde ca. 380.000 km). Berechne und überprüfe auch für deine Lochkamera.

## X. Abbildungen: Die Linsenkamera

### Wie kann man das Bild der Lochkamera verbessern?

Damit du einen Gegenstand mit der Lochkamera sehen kannst, muss er relativ viel Licht abstrahlen. Strahlt der beobachtete Gegenstand nur wenig Licht ab, ist das **Bild sehr dunkel**, denn wenig Licht vom Gegenstand gelangt auf den Schirm der Lochkamera. Daher kommt sehr wenig Bildinformation in dein Auge. Was passiert, wenn du die Blendenöffnung deiner Lochkamera vergrößerst, damit mehr Licht auf den Schirm fällt?

Deine Lehrkraft verwendet den LED Spot, um dir zu zeigen, was bei **verschieden großen Blendenöffnungen** passiert (Abb. 1).

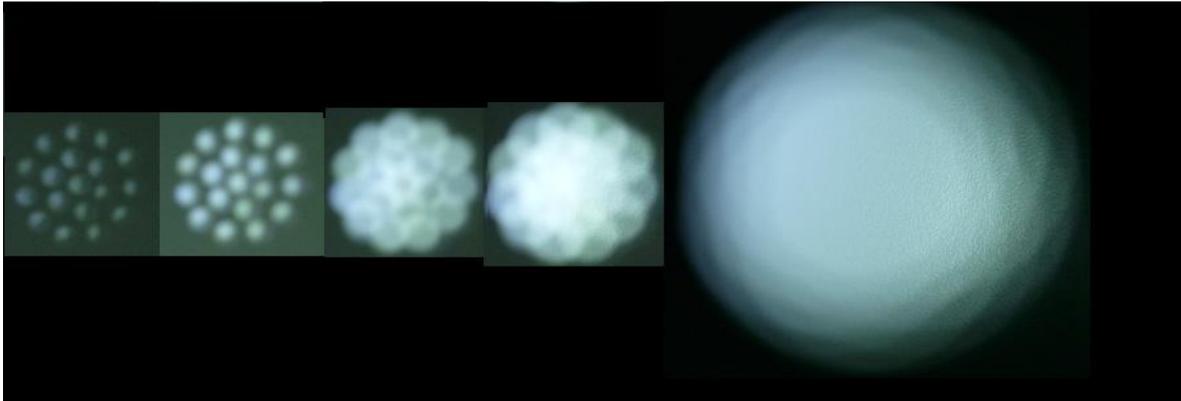


Abb. 1: Von links nach rechts wurde eine immer größere Blendenöffnung verwendet, um den LED Spot abzubilden.

Du siehst wie die Bilder der einzelnen LEDs ineinander verschwimmen. Das Bild wird **heller**, aber **unscharf**. Abb. 2 unterhalb zeigt, warum das so ist: Je größer die Blendenöffnung ist, desto breiter sind die ausgeschnittenen Lichtkegel. Wenn die **Lichtkegel breiter** werden, werden die **Lichtflecken am Schirm größer**. Die Lichtflecken am Schirm (Bildflecken) überschneiden sich nun. Du kannst die Bildflecken nicht mehr einzeln wahrnehmen. Das Bild wird unscharf.

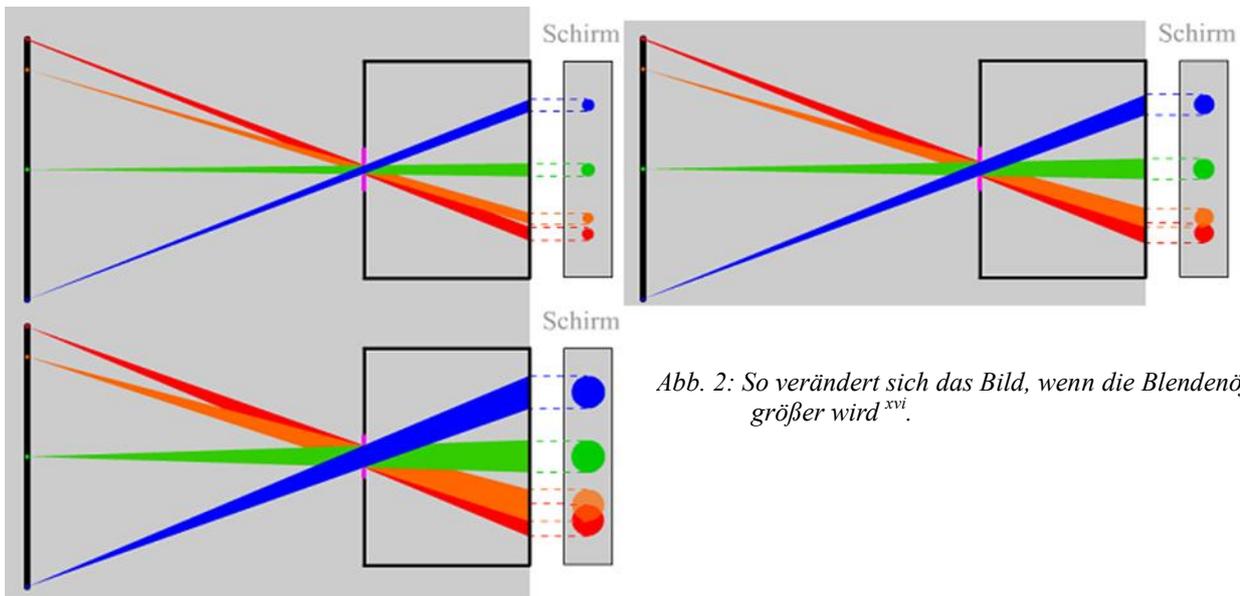


Abb. 2: So verändert sich das Bild, wenn die Blendenöffnung größer wird<sup>xvi</sup>.

### Überlege:

- Welche Form müssten die Lichtkegel nach der Blende haben, damit ein scharfes Bild am Schirm entsteht?
- Wie kann man solche Lichtkegel erzeugen?

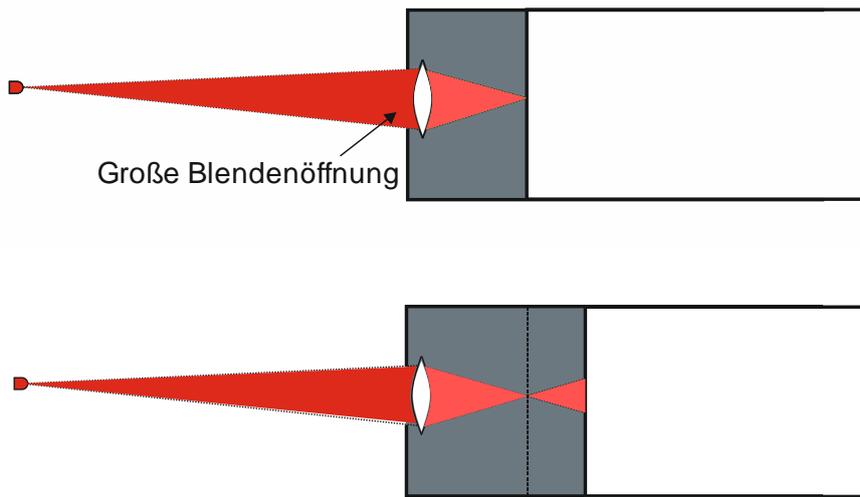


Abb. 1: Lochkamera mit Sammellinse in der Öffnung.

Das Bild ist nur dann **scharf**, wenn alle **Leuchtflecken** des Gegenstandes **Bildflecken verursachen**, die voneinander **getrennt am Schirm erscheinen**. Wir brauchen also Lichtkegel, die nach der Blende wieder zusammenlaufen.

Eine **Sammellinse** erfüllt diese Aufgabe (Abb.1). Die Sammellinse macht aus einem Lichtkegel, der auseinander läuft, einen Lichtkegel, der zusammen läuft. Die Sammellinse führt das Licht, das von einem **LeuchtPUNKT des Gegenstands** ausgeht in einem **BildPUNKT** zusammen (Abb.1, oben). Nach diesem Bildpunkt strebt das Licht wieder kegelförmig auseinander (Abb. 1, unten).

#### Arbeitsauftrag 1:

Verbessere dein Kameramodell mit einer Sammellinse. Nutze dazu die Hinweise aus der Bauanleitung für die Lochkamera.

#### Arbeitsauftrag 2:

Beobachte mit deinem verbesserten Kameramodell verschiedene Gegenstände in unterschiedlichen Entfernungen (Gegenstandsweiten  $g$ ):

- Was fällt dir am Bild im Vergleich zur Lochkamera ohne Linse auf?
- Sieh dir Abb. 1 dazu an, kannst du deine Beobachtung mit Hilfe der Abbildung erklären?

Wenn du einen Gegenstand aus einer **bestimmten Entfernung beobachtest**, dann gibt es **genau EINE Einstellung des Auszuges**, bei dem du ein **scharfes Bild des Gegenstandes** siehst.

Allgemein bedeutet das:

**Bei einer Sammellinse gehört zu jeder Gegenstandsweite genau eine Bildweite.** Bei einem scharfen Bild ist die Bildweite der Abstand zwischen Schirm und Linse.

Zusammengefasst beschreibt das die **Linsegleichung**<sup>1</sup>:

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

<sup>1</sup>  $f$  steht für die Brennweite einer Linse. Das ist ein für jede Linse fester Wert, der mit der Brechkraft zusammenhängt. Auf S. 84 erfährst du Näheres darüber.

Wir können wieder den **Vergleich zwischen Lochkamera und Auge** ziehen. Ähnlich wie die Lochkamera muss sich auch das Auge „**scharf stellen**“. Das Auge muss sich an Entfernungen anpassen.

Im menschlichen Auge ist die Netzhaut immer gleich weit von der Linse entfernt, die Bildweite ist also immer gleich groß. Diesen Abstand können wir auch nicht verändern. Um trotzdem scharfe Bilder auf der Netzhaut zu erhalten, muss die Augenlinse das einfallende Licht verschieden stark zusammenlenken können. Auf physikalisch heißt diese Eigenschaft einer Sammellinse auseinanderlaufende Lichtbündel zusammenlenken zu können, **Brechkraft**.

Für unsere Augenlinse bedeutet das nun: Möchte ich einen **nahen Gegenstand** scharf sehen, wird die **Augenlinse** durch die **Augenmuskeln stärker gekrümmt**. Betrachte ich **entfernte Gegenstände**, dann sind die Augenmuskeln gelockert. Die Augenlinse hat dann eine flachere Form. Dieser Vorgang, bei dem die Augenlinse an die Entfernung des Gegenstandes angepasst wird, heißt **Akkommodation**.

#### Arbeitsauftrag 3:

Skizziere was eine stärker und eine schwächer gekrümmte Linse mit einem Lichtbündel macht. (Auf physikalisch: Welche Linse eine größere Brechkraft hat.)

#### Arbeitsauftrag 4:

In der Abb. 1 siehst du, wie du die Akkommodation bei deinen Augen erproben kannst. Probiere das mit der Tafel in deiner Klasse und deinem Daumen aus. Lasse dabei ein Auge geschlossen. Kannst du Tafelschrift und Daumen gleichzeitig scharf sehen?



Abb. 1: Akkommodation des Auges.

#### Arbeitsauftrag 5:

Auch Brillen und Kontaktlinsen haben Linsen verschiedener Brechkraft. Recherchiere in deinem Physikbuch, in welcher Einheit die Brechkraft angegeben wird und wie sie definiert ist.

## **Entfernungen mit der Linsenkamera messen**

Wir wollen eine Entfernung mit der Linsenkamera messen. Wie geht das? Wir nehmen den Merksatz von Seite 54: **Bei einer Sammellinse gehört zu jeder Gegenstandsweite genau eine Bildweite**. Dieser Merksatz erlaubt es uns, wenn wir eine Weite kennen, die andere zu bestimmen.

Wir wollen nun den Abstand von einem Gegenstand zur Linsenkamera messen, also die Gegenstandsweite. Damit das gelingt, müssen wir den Abstand von der Linse zum Bildort am Schirm kennen, also die Bildweite. Unser Merksatz von oben umgedreht, sagt genau das aus: Bei einer Sammellinse gehört **zu jeder Bildweite genau eine Gegenstandsweite**.

Die **Bildweite** bei der Lochkamera veränderst du, indem du den **Auszug** herausziehst bzw. hineinschiebst. Ist bei einer bestimmten Auszuglänge das **Bild eines Gegenstandes scharf**, dann hast du für die Entfernung zwischen Gegenstand und Linse (Gegenstandsweite) genau die passende Bildweite eingestellt. Damit aus deinem Kameramodell ein Entfernungsmesser wird, musst du also den **richtigen Zusammenhang** zwischen der **Position des Auszuges (Bildweite)** und der **Entfernung des Gegenstandes (Gegenstandsweite)** finden. Dieser Vorgang heißt Kalibrieren.

### Arbeitsauftrag: Kalibrieren im Team

Ihr benötigt ein Papiermaßband, Klebeband und ein Buch. Zuerst baut ihr die Messstation auf (siehe Abb. 1).

1. Klebt das Papiermaßband mit Klebeband auf den Tisch. Klebt das Klebeband dabei nicht zu nahe an den Rand des Tisches. Es muss Platz für die Linsenkamera bleiben.
2. Stellt ein Buch auf. Vom Buch sollt ihr dann ein scharfes Bild mit der Linsenkamera machen.

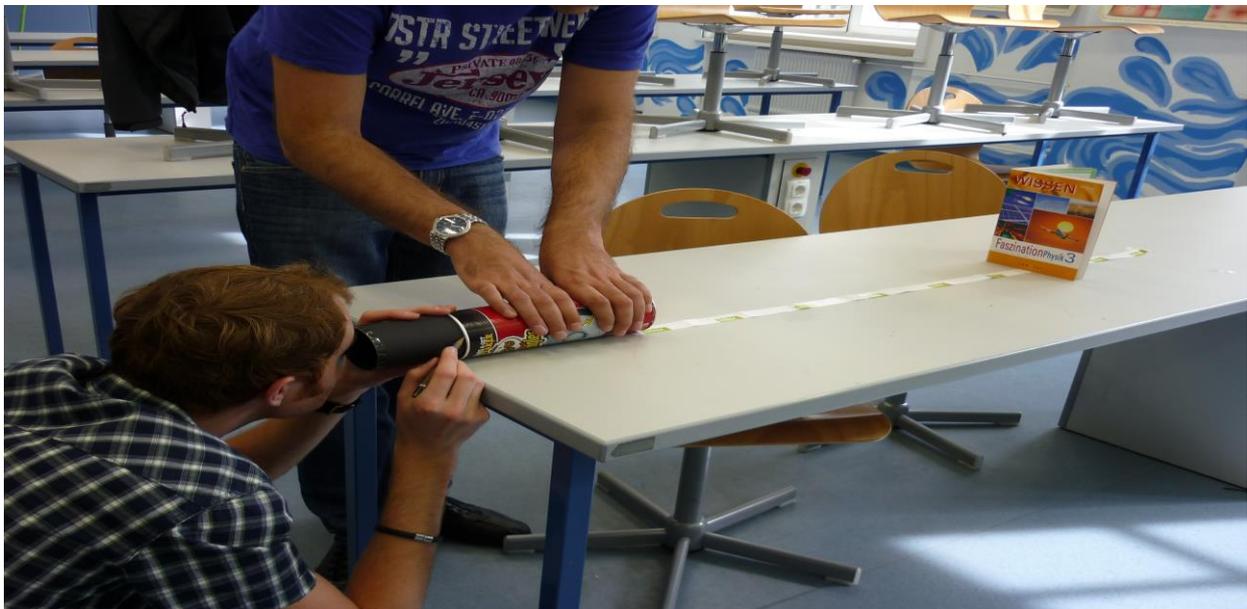


Abb. 1: So kann eine Messstation aussehen. Bei der Kalibrierung wird die Position des Auszuges mit dem Bleistift markiert.

Kalibriere den Entfernungsmesser für Gegenstandsweiten von 30 cm, 40 cm, 50 cm und 70 cm.

So geht ihr bei der Kalibrierung vor (siehe Abb. 1):

- 1) Legt das Kameramodell so auf, dass die Linse der Kamera direkt über dem Nullpunkt des Maßbandes liegt.
- 2) Stellt das Buch in der gewünschten Entfernung vor der Linsenkamera auf (z.B. 70 cm).
- 3) Bewegt den Auszug bis das Buch scharf am Schirm erscheint. Dein Partner bzw. deine Partnerin sollte dabei die Linsenkamera festhalten.
- 4) Markiere die Position des Auszuges leicht mit einem Bleistift.
- 5) Wiederhole diese Schritte noch zweimal für die gleiche Entfernung. Am besten ist es, wenn ihr euch dabei abwechselt und den Auszug vor jeder Wiederholung ganz hinein verschiebt.
- 6) Wähle nun einen „Mittelwert“ dieser drei Striche. Markiere diesen Mittelwert mit einem dicken Strich und schreibe die dazu gehörende Gegenstandsweite daneben (z.B. 70 cm).

Führe diese Kalibrierung für alle 4 Entfernungen durch. Du erhältst am Ende eine **Entfernungsskala**, mit der du deine Linsenkamera als Entfernungsmesser benutzen kannst.

Arbeitsauftrag:

- Fertige eine kurze Gebrauchsanweisung für den Entfernungsmesser an.
- Führe danach einige Entfernungsmessungen durch.

## XI. Abbildungen: Das Spiegelbild

### **Die Eigenschaften des Spiegelbildes**

Das Spiegelbild eines Gegenstandes sieht irgendwie anders aus als der Gegenstand vor dem Spiegel. Aber was **unterscheidet das Spiegelbild und den Gegenstand**? Die folgenden Experimente sollen dir bei der Beantwortung helfen.

#### Arbeitsauftrag 1:

Lege einen Gegenstand vor einen Spiegel. Verschiebe ihn nach links, dann nach rechts. Wie ändert sich die Position des Spiegelbildes?

Schiebe ich den *Gegenstand* nach links, dann bewegt sich sein Spiegelbild.....

#### Arbeitsauftrag 2:

Setze dich direkt vor den Spiegel. Schiebe nun diesen Gegenstand von dir weg zum Spiegel hin und ziehe ihn dann wieder zu dir. Wie ändert sich die Position des Spiegelbildes?

Schiebe ich den *Gegenstand* von mir weg, dann bewegt sich sein Spiegelbild.....

Ziehe ich den *Gegenstand* zu mir, dann bewegt sich sein Spiegelbild.....

#### Arbeitsauftrag 3:

Lege einen Spielwürfel vor einen Spiegel (siehe Abb. 1). Vervollständige die Augenzahl im Spiegelbild!

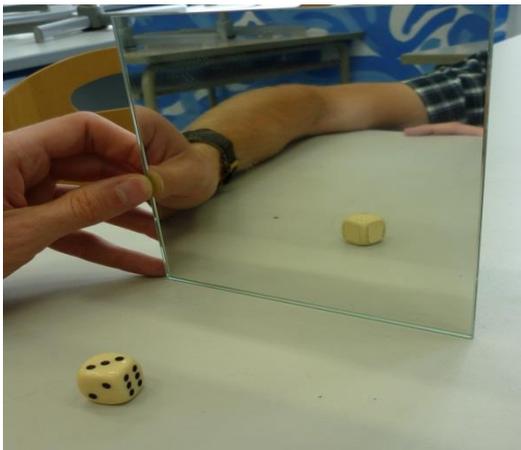


Abb. 1: Ein Würfel liegt vor einem Spiegel.



Abb. 2: Ein Männchen versteckt sich.

In Abb. 2 siehst du einen Versuchsaufbau, bei dem eine **Spielfigur hinter einer Wand** aus Spielklötzen steht. Du kannst das Männchen nicht sehen, weil **von deiner Position aus erst die Wand und dann das Männchen** ist. Im Spiegel kannst du das Männchen sehen. Im Spiegelbild ist die **Reihenfolge umgekehrt**, du siehst erst das Männchen und dahinter die Wand. Der Spiegel vertauscht also vorne und hinten.

In Abb. 3 siehst du nun die Figur eines Wassermanns, der links eine Flosse hat und einen Dreizack hoch hält.

#### Arbeitsauftrag 4:

- Wie ist das im Spiegelbild? Auf welcher Seite ist im Spiegelbild der Dreizack zu sehen?
- Auf welcher Seite ist die Flosse des Wassermanns im Spiegelbild?

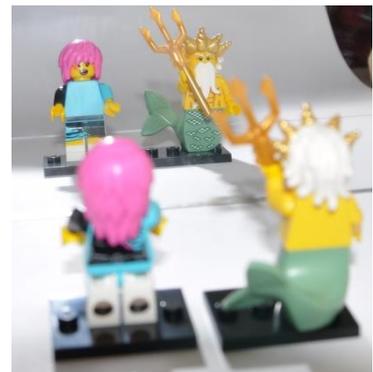


Abb. 3: Spiegelbild

## Wir fassen zusammen:

Die Seite des Gegenstandes, die näher bei dir ist, also die Vorderseite des Gegenstandes, ist im Spiegelbild ..... Die rechte Seite des Gegenstandes ist beim Spiegelbild ..... zu sehen. Die linke Seite des Gegenstandes ist beim Spiegelbild ..... zu sehen.

Der Unterschied zwischen Gegenstand und Spiegelbild ist:

***Der Spiegel vertauscht vorn und hinten, NICHT rechts und links.***

## PROJEKT für fortgeschrittene Expert/innen und solche, die es noch werden wollen:

Deine Physiklehrerin behauptet:

Die meisten Menschen glauben fest daran, dass der Spiegel links und rechts vertauscht. Ihr kennt sicher solche Aussagen wie: „Der Spiegel macht ein spiegelverkehrtes Bild.“ Wir haben bisher nur die Spiegelbilder von Figuren und Gegenständen betrachtet. Unsere eigenen Spiegelbilder haben wir bisher noch gar nicht besprochen, weil es da viel schwieriger ist zu verstehen, dass der Spiegel nicht rechts und links vertauscht.

Wir wollen diesem Links-Rechts-Vertauschungsmythos nun einmal auf die Schliche kommen.

- Hat die Lehrerin Recht damit, dass viele Menschen glauben, dass der Spiegel links und rechts vertauscht?
- Gibt es Übungen bzw. Experimente, die helfen solche Menschen davon zu überzeugen, dass der Spiegel nicht links und rechts vertauscht?
- Macht das wirklich einen Unterschied, ob man einen Gegenstand oder sich selber im Spiegel ansieht?

## **Im Folgenden sollt ihr diese Problemstellungen in Kleingruppen erforschen.**

In der Wissenschaft ist es meist so, dass solche Vermutungen wie die von der Lehrerin als Hypothesen formuliert werden. Dann wird mit Untersuchungen, Befragungen oder Experimenten untersucht, ob man Bestätigungen für so eine Hypothese finden kann.

- a) Recherchiert einmal im Internet, was eine Hypothese genau ist.

## **Zur Übung findet ihr unten ein paar Hypothesen.**

- b) Diskutiert darüber, welche gut formuliert sind und welche sich nicht als Forschungshypothesen eignen.
- Experimente helfen den Spiegel zu verstehen.
  - Mindestens die Hälfte der Schülerinnen aus der 3. Klasse beantwortet die Frage „Was vertauscht der Spiegel“ mit „links und rechts“.
  - Friseure stehen viele Stunden vor dem Spiegel, daher wissen sie, dass der Spiegel nicht links und rechts vertauscht, sondern vorne und hinten.
- c) Versucht nun gute Hypothesen zur obigen Problemstellung zu formulieren.

Besprecht eure Forschungshypothesen entweder in der Klasse oder mit eurer Lehrerin. Wenn ihr euch auf 2-3 Forschungshypothesen geeinigt habt, dann plant die entsprechende Untersuchung dazu.

- d) Überlegt: Welches Experiment müsst ihr machen, welche Menschen müsst ihr befragen, etc. um eure Hypothesen bewerten zu können?

Wenn eure Versuchsplanung fertig ist, besprecht sie wieder in der Klasse oder mit der Lehrerin. Erst dann führt eure Untersuchungen durch. Vergesst nicht auf die Dokumentation eurer Untersuchung, der Ergebnisse und Schlussfolgerungen.

## Der Ort des Spiegelbildes

### SUCHBILD:

Schau dir die Abb. 1 und Abb. 2 genau an. Die Abbildungen sind nicht völlig gleich. Wodurch unterscheiden sie sich?

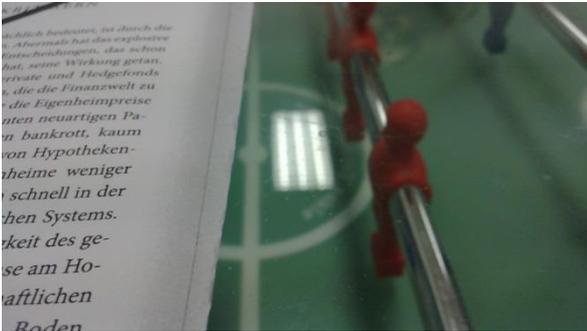


Abb. 1: Wuzler mit Blatt



Abb. 2: Wuzler mit Blatt

Bestimmt ist dir aufgefallen, dass durch die Glasplatte des Wuzlers die Deckenleuchte abgebildet wird (Abb. 1 und Abb. 2). Hast du auch entdeckt, dass in Abb. 1 das Blatt, das auf der Glasplatte liegt, scharf abgebildet ist, die Deckenleuchte aber nicht? Und, dass es in Abb. 2 genau umgekehrt ist: Das Spiegelbild der Deckenleuchte ist scharf, aber das Blatt auf der Glasplatte ist unscharf.

### Überlege:

Warum kann die Kamera nicht gleichzeitig das Blatt Papier, das auf der Glasplatte liegt, und die Leuchte scharf abbilden? Kannst du dir einen Grund dafür vorstellen?

Die Lösung dieses Problems hat damit zu tun, dass das Spiegelbild der Deckenleuchte nicht dort auf der Glasplatte entsteht, wo das Blatt liegt. Weil das Spiegelbild der Leuchte und das Blatt **unterschiedlich weit von der Linse** des Fotoapparats entfernt sind, kann nicht beides gleichzeitig scharf sein. Aber diese Regel kennst du ja schon. Kannst du dich noch erinnern? Schreib den Inhalt dieser Regel noch einmal in möglichst vielen, unterschiedlichen Formen (Gleichung, Merksatz, Skizze...) auf:

Wir werden uns jetzt damit beschäftigen, wo das Spiegelbild der Deckenleuchte entsteht, um das Wuzler-Problem restlos zu lösen.

### Arbeitsauftrag 1:

Lege eine Kerze (Teelicht) rechts so vor den Spiegel, dass du das Spiegelbild der Kerze gerade noch am Spiegelrand sehen kannst (s. Kerze 1 in Abb. 3).

- Schau in den Spiegel. Verschiebe seitlich am Spiegel vorbei eine zweite Kerze so lange nach hinten, bis sie genau neben dem Spiegelbild der Kerze 1 steht (siehe Kerze 2 in Abb. 3).
- Miss den Abstand von Kerze 1 zum Spiegel.
- Vergleiche diesen Abstand mit dem Abstand von Kerze 2 zum Spiegel. Was fällt dir auf?

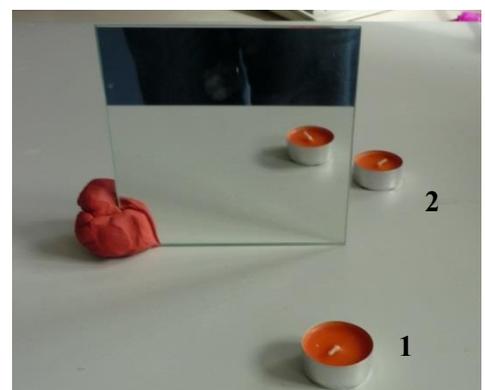


Abb. 3: Die beiden Kerzen von oben betrachtet.

Arbeitsauftrag 2:

Stelle einen Bildständer 30 cm vor einem Spiegel auf (siehe Abb. 4a). Klebe danach einen Aufkleber auf den Spiegel. Lege die Linsenkamera so an, dass sich die Linse der Kamera genau über dem aufgestellten Bildständer befindet.

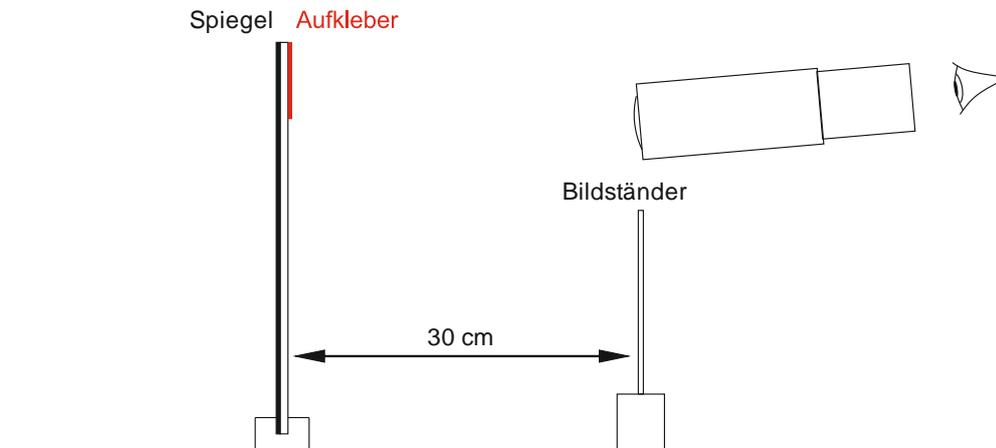


Abb. 4a: Den Ort des Spiegelbilds mit Entfernungsmesser bestimmen.

- Benutze die Linsenkamera als Entfernungsmesser. Stelle dazu die Kamera so ein, dass das **Spiegelbild des Bildständers scharf** am Schirm ist. Lies dann die Entfernung mit der Entfernungsskala ab. Wie weit ist das Spiegelbild von der Kamera entfernt?
- Stelle als nächstes die Kamera so ein, dass der **Aufkleber am Spiegel scharf** ist. Lies erneut die Entfernung des Spiegelbildes mit der Entfernungsskala ab. Wie weit ist der Aufkleber am Spiegel von der Kamera entfernt?
- Wie weit ist also das Spiegelbild des Bildständers vom Spiegel entfernt?



Abb. 4b: Ort des Spiegelbildes mit Entfernungsmesser bestimmen.

Wir fassen zusammen:

**Der Ort des Spiegelbildes befindet sich hinter dem Spiegel.  
Der Abstand vom Gegenstand zum Spiegel und vom Spiegelbild zum Spiegel ist gleich.  
Spiegelbild und Gegenstand liegen daher symmetrisch zum Spiegel.**

Es ist auch egal, von wo du auf den Spiegel siehst, das Spiegelbild eines Gegenstandes ist immer am gleichen Ort. Wie das genau gemeint ist, schauen wir uns jetzt an.

Versuch: Eine Kerze wird vor eine Glasplatte gestellt. Die Glasplatte wirkt teilweise wie ein Spiegel. Ein Becherglas wird hinter die Glasplatte gestellt. Das Becherglas wird so verschoben, dass das Spiegelbild der Kerze im Becherglas erscheint (siehe Abb. 2).

Von welcher Position du auch auf die Glasplatte schaust, das Spiegelbild der Kerze ist immer im Becherglas (siehe Abb. 1). Das Spiegelbild erscheint immer am selben Ort – nämlich symmetrisch zum Gegenstand vor dem Spiegel. Die Position des Beobachters hat keinen Einfluss.

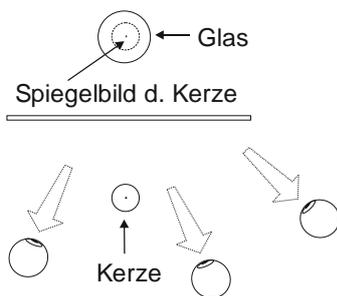


Abb. 1: Das Spiegelbild der Kerze ist immer im Glas. Es ist egal, in welcher Position sich eine Beobachterin befindet.

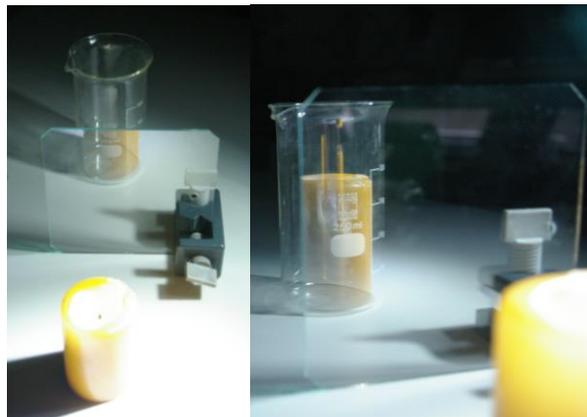


Abb. 2: Kerze und Becherglas im gleichen Abstand vor und hinter der Glasscheibe.

#### Arbeitsauftrag 1:

Erkläre warum das Spiegelbild aus jeder Beobachterposition am selben Ort entsteht. Verwende dazu auch unseren gut bekannten Leitsatz: **VON NIX KOMMT NIX.**

#### Arbeitsauftrag 2:

Bei Architekten und Architektinnen sind Spiegel sehr beliebt, weil Räume durch Spiegel größer wirken. Kann man die gleiche Wirkung erzielen, wenn man ein Foto des Spiegelbildes statt dem Spiegel an die Wand hängt? Begründe deine Entscheidung. (Als Hilfestellung: denke an den Versuch mit dem Bildständer und dem Entfernungsmesser auf S. 61)

#### Arbeitsauftrag 3:

Du beobachtest das Spiegelbild eines stehenden Bleistifts mit der Linsenkamera (Abb. 3). Wie weit ist das Spiegelbild des Stifts von der Kamera entfernt? Berechne!

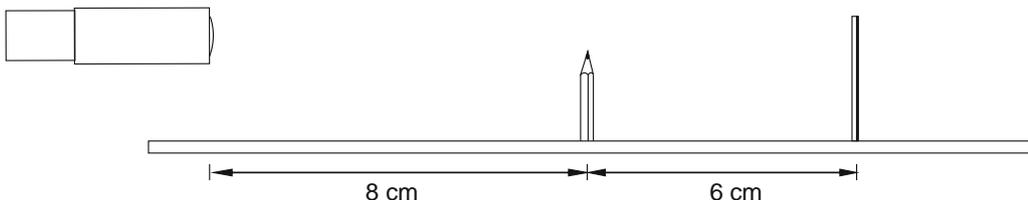


Abb. 3: Der Entfernungsmesser misst die Entfernung zum Spiegelbild des Bleistifts.

#### Arbeitsauftrag 4:

Suchbild Teil 2: Erinnerung dich an die beiden Fotos vom Wuzler auf Seite 60. Die genaue Antwort, warum sich die Fotos unterscheiden, haben wir dir noch nicht gegeben. Jetzt weißt du aber alles, damit du die Unterschiede in den beiden Fotos physikalisch richtig und fundiert erklären kannst. Welchen Erklärungstext sollen wir in dieses Heft aufnehmen?

## Die Konstruktion eines Spiegelbildes

Der Ort des Spiegelbildes ist für alle Beobachterpositionen gleich. Du kannst diesen Ort daher allgemein konstruieren. Du gehst dabei so vor, wie du es im Mathematikunterricht bereits gelernt hast.

Erinnerung: „Spiegeln“ an einer Spiegellinie (Die Spiegellinie ist die Linie, an der gespiegelt wird).

- Zeichne von einem Punkt, den du spiegeln möchtest, eine Normale auf die Spiegellinie.
- Nimm den Abstand des Punktes zur Spiegellinie in den Zirkel.
- Schlage diesen Abstand mit dem Zirkel auf der anderen Seite der Normalen ab. Dort ist der Bildpunkt.

Das Foto unterhalb zeigt dir, warum du eine Normale zeichnen musst (siehe Abb. 1).

### Arbeitsauftrag 1:

- Beschreibe in deinen eigenen Worten, warum du eine Normale beim Spiegeln zeichnen musst.
- Gib auch die physikalische Begründung an, warum du den Abstand zwischen Gegenstand und Spiegellinie nach hinten mit dem Zirkel abschlagen musst, um zum Ort des Spiegelbildes zu kommen.

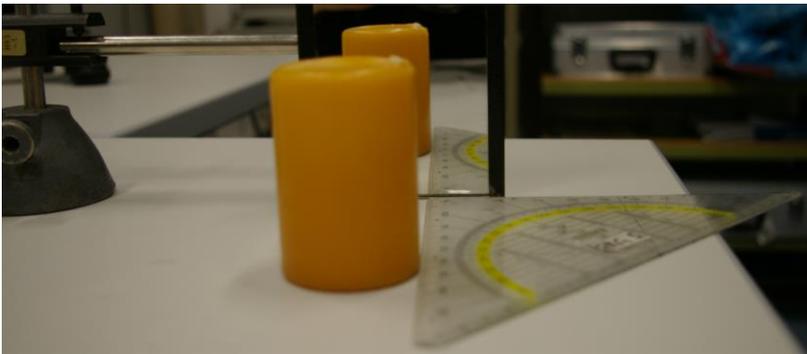
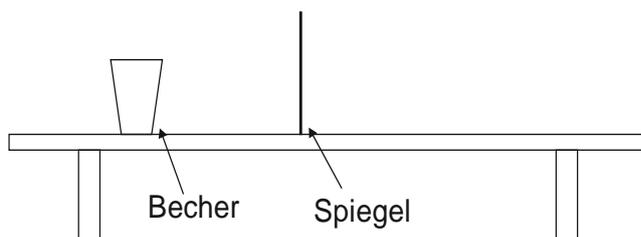


Abb. 1: Die Verbindungslinie von Kerze und gespiegelter Kerze.

### Arbeitsauftrag 2:

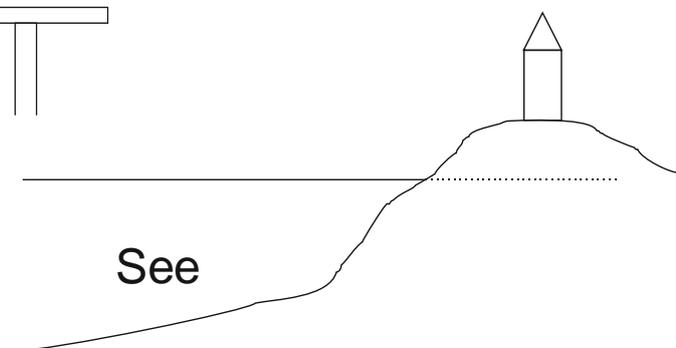
Auf einem Tisch steht ein Becher vor einem Spiegel. Konstruiere das Spiegelbild des Bechers. Beginne mit den Eckpunkten des Bechers.



### Arbeitsauftrag 3:

Konstruiere das Spiegelbild des Turms, wenn er sich im See spiegelt.

Für Fortgeschrittene: Zeichne einen Punkt ein, von dem man das Spiegelbild der Turmspitze sehen kann.



### Arbeitsauftrag 4:

Roland will sich einen Spiegel für seinen begehbaren Schrank kaufen. Der Spiegel soll so groß sein, dass er sich von Fuß bis Kopf sehen kann. Wie groß muss der Spiegel also sein?

## XII. Die Reflexion

### **Die Reflexion, ein Sonderfall der Streuung**

Du hast bis jetzt gelernt, wo das Spiegelbild entsteht. Du hast aber noch nicht gehört, warum überhaupt ein Spiegelbild entsteht. Was passiert mit dem Licht an der Oberfläche eines Spiegels?

#### Arbeitsauftrag 1:

Was geschieht, wenn ein weißer Karton und ein Spiegel mit einem Spot beleuchtet werden (Abb.1)?

- Welche Unterschiede kannst du beobachten? Beschreibe, wie du den Spiegel und den weißen Karton wahrnimmst.
- Gib jeweils die Lichtwege vom Spot bis in dein Auge an.

#### Arbeitsauftrag für Expert/innen:

- Aus welcher Richtung strahlt der Spot auf den Spiegel bzw. auf den Karton?
- Welche Hinweise findest du für deine Vermutung im Foto? Tipp: Es gibt mindestens 2 Hinweise dafür im Foto.
- Warum siehst du im Spiegel kein Bild des Spots?

Der Spiegel erscheint schwarz, weil das einfallende Licht am Beobachter vorbei gestreut wird. Das Licht vom Scheinwerfer wird in diesem Fall vom Spiegel nicht in das Auge des Beobachters weitergestrahlt. Das Stück Karton hingegen erscheint **aus allen Beobachtungsrichtungen** hell, weil der Karton das eintreffende Licht in alle möglichen Richtungen weiterstrahlt. Aber das weißt du ja schon: **VON NIX KOMMT NIX.**

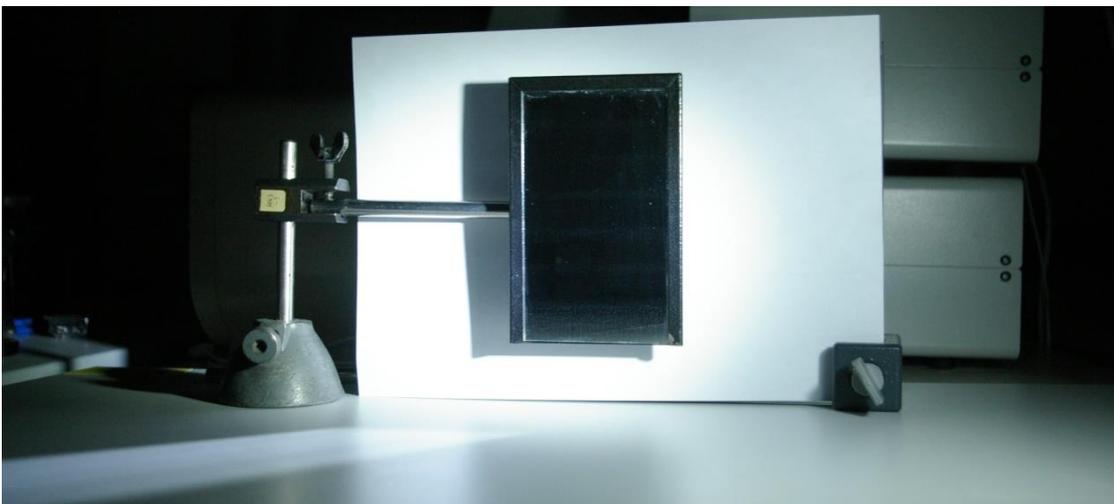


Abb. 1: Der Spiegel und der dahinter liegende Karton werden mit einem Spot beleuchtet.

Im Bild gibt es einen Hinweis darauf, auf welche Art der Spiegel das auftreffende Licht weiterstrahlt. Auf der Tischfläche kannst du erkennen, dass ein gewisser Bereich aufgeleuchtet ist. Das ist Licht, das vom Spiegel nach schräg unten weitergestrahlt wird. Der Spiegel streut also das Licht des Spots überwiegend in eine bestimmte Richtung (=Vorzugsrichtung).

Diese **spezielle Form der Streuung** heißt **Reflexion**. Reflexion tritt vor allem an glatten Oberflächen auf. Ein Spiegel kann bis zu 99% des einfallenden Lichtes reflektieren.

Die folgende Darstellung zeigt dir nochmals den **Unterschied zwischen allgemeiner Streuung und Reflexion** (siehe Abb. 2). Du weißt ja bereits: Wegen der mikroskopisch kleinen Unebenheiten, strahlt der Karton das aufgenommene Licht **in alle möglichen Richtungen** weiter. Das Licht wird also gestreut.

Beim Spiegel ist es im Prinzip das gleiche, die Teilchen aus, denen der Spiegel besteht, nehmen das eingestrahlte Licht auf und geben es wieder ab. Der Unterschied besteht nur darin, dass die Teilchen eines Spiegels so angeordnet sind, dass sie das **Licht in dieselbe Richtung weiterstrahlen**. Die Teilchen aus denen der Karton besteht, sind hingegen anders angeordnet und strahlen daher das aufgenommene Licht in unterschiedliche Richtungen weiter.

Ein anderer Unterschied ist auch, dass die Teilchen, aus denen der Spiegel besteht, fast das gesamte einfallende Licht wieder abstrahlen. Der weiße Karton strahlt nicht ganz soviel Licht weiter und ein roter, blauer oder schwarzer Karton .....

.....

.....

Aber das weißt du ja auch schon. Daher fällt es dir sicher nicht schwer, den obigen Satz zu vervollständigen.

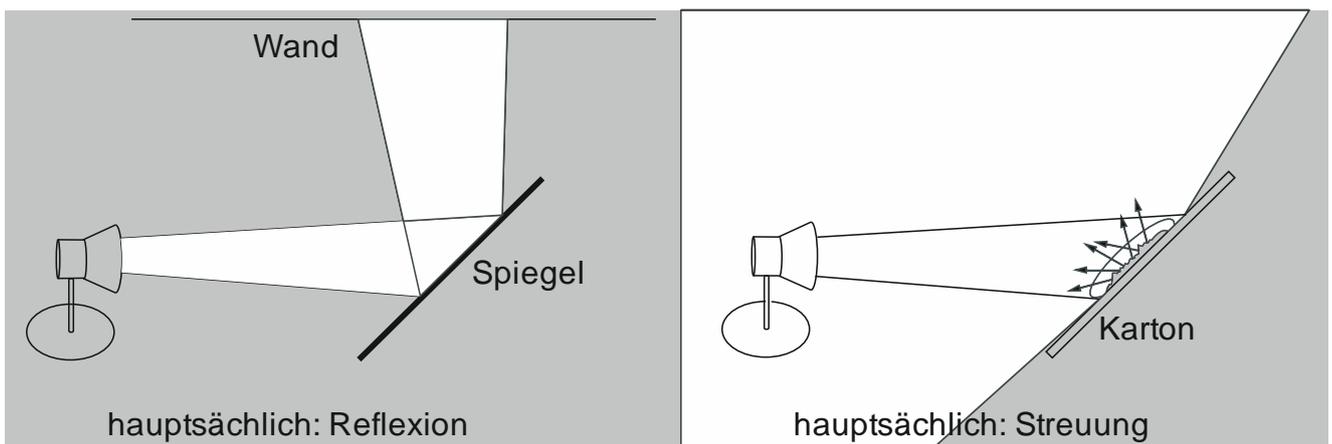


Abb. 2: Der Unterschied zwischen Reflexion und Streuung

Arbeitsauftrag:

- In eurem Alltag begegnet ihr verschiedenen Materialien, in denen ihr eure Spiegelbilder sehen könnt. Sammelt so viele, wie euch einfallen.
- Recherchiert aus welchem Material Spiegel meisten sind und wie sie hergestellt werden.
- Überlegt, wo im Alltag überall Spiegel eingesetzt werden und welche Funktion sie haben.

## Das Reflexionsgesetz

Du weißt, die **Reflexion ist ein Sonderfall der Streuung**. Bei der Reflexion wird das einfallende Licht fast vollständig in eine bestimmte Richtung gestreut. Du lernst jetzt, wie du diese Richtung ermitteln kannst, in die das Licht reflektiert wird.

### Versuch:

Vor euch in der Klasse steht ein kleiner Spiegel.

- Wessen Spiegelbild kannst du aus deiner Position sehen? Wer kann dein Spiegelbild sehen?
- Wenn ihr das herausgefunden habt, dann spannt eine Schnur stellvertretend für den Lichtweg vom Zwischensender zum Spiegel und weiter zum Beobachter.
- Fertige eine Skizze zu diesem Versuch an. Zeichne in die Skizze dich, deine Mitschülerin, die Schnur und den Spiegel ein. Beschrifte wer der Zwischensender und wer der Beobachter ist. Erkläre auch wie dazu unser Motto **VON NIX KOMMT NIX** passt.
- Was passiert, wenn einer der Schüler mit der Taschenlampe auf den Spiegel leuchtet?

### Arbeitsauftrag:

Ein physikalischer Fachbegriff, der mit der Übung oben zu tun hat, heißt „Umkehrbarkeit von Lichtwegen“. Kannst du dir darunter etwas vorstellen?

Versuche den Sachverhalt der dahintersteckt so zu erklären, dass ihn auch eine Schülerin aus einer niedrigeren Klassen verstehen kann.

Das **Reflexionsgesetz ist die Regel**, die beschreibt, **in welche Richtung Licht abgelenkt** wird. Hier sind die wichtigsten Begriffe, die du kennen musst:

<i>Lot</i>	= Senkrechte Linie auf die reflektierende Fläche
<i>Einfallswinkel</i>	= Winkel zwischen dem einfallenden Lichtstrahl und dem Lot
<i>Ausfallswinkel</i>	= Winkel zwischen dem reflektierten Lichtstrahl und dem Lot

Das Reflexionsgesetz kannst du nun mit einer optischen Scheibe beobachten (siehe Abb. 1). Deine Lehrkraft führt mit euch mehrere Messungen durch. Die Lichtstrahlen werden auf die Mitte des Spiegels gelenkt. Danach werden der Einfallswinkel und der Ausfallswinkel gemessen. Fülle die Tabelle in Abb. 1 aus.

Einfallswinkel	Ausfallswinkel

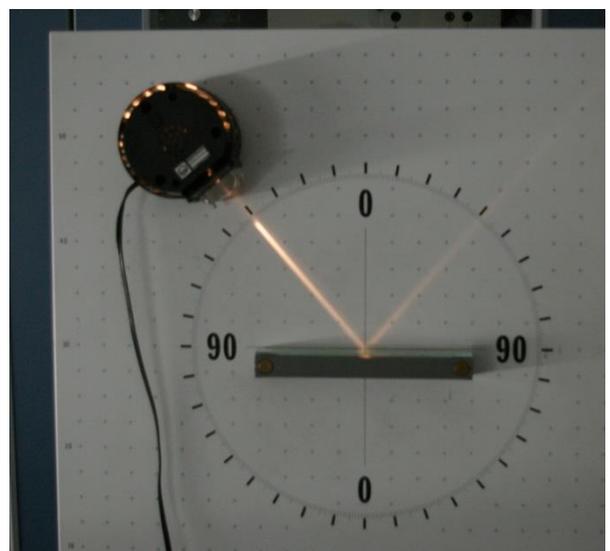


Abb. 1: Reflexionsgesetz an optischer Scheibe

Das Reflexionsgesetz lautet:

**$\text{Einfallswinkel} = \text{Ausfallswinkel} (\alpha = \beta)$**   
**Einfallender Strahl, Lot und reflektierter Strahl liegen in einer Ebene.**

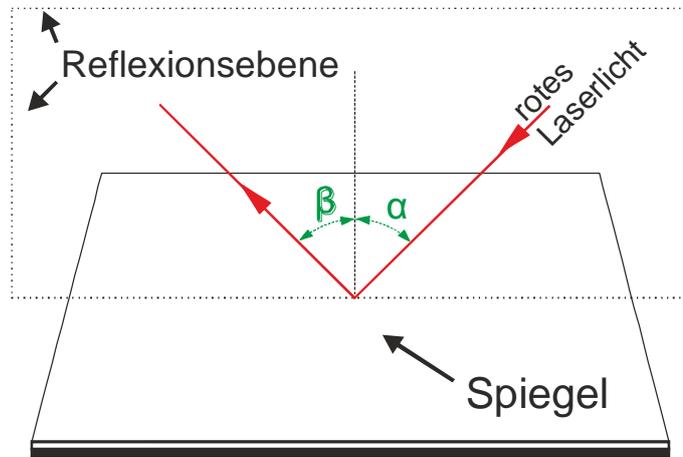


Abb. 1: So verläuft ein Lichtstrahl bei der Reflexion.

Arbeitsauftrag 1:

In Abb. 1 siehst du, wie einfallender Strahl, Lot und reflektierter Strahl in einer Ebene liegen.

- Stellt diese Situation mit 2 Stiften (Lichtstrahlen) und einem Buch (Spiegel) nach.
- Überlegt euch dafür möglichst viele, unterschiedliche Positionen der Reflexionsebene und des einfallenden Laserstrahls.

Aufgaben:

- a) Zeichne jeweils den reflektierten Lichtstrahl, den Einfallswinkel und den Ausfallswinkel in Abb. 2 ein.



Abb. 2: Ein Lichtstrahl trifft auf einen Spiegel.

Linke Zeichnung:

Einfallswinkel: \_\_\_°

Ausfallswinkel: \_\_\_°

Rechte Zeichnung:

Einfallswinkel: \_\_\_°

Ausfallswinkel: \_\_\_°

- b) Zeichne in Abb. 3 ein, wie der Lichtkegel am Spiegel reflektiert wird.
- An welcher Stelle trifft der Lichtkegel die Wand?
  - Für die Konstruktion: Nutze zwei Lichtstrahlen an den Rändern des einfallenden Lichtkegels als Stellvertreter für den ganzen Lichtkegel.
  - Was siehst du an der Wand? Warum siehst du das?
  - Was passiert mit dem Licht, nachdem es die Wand erreicht hat?

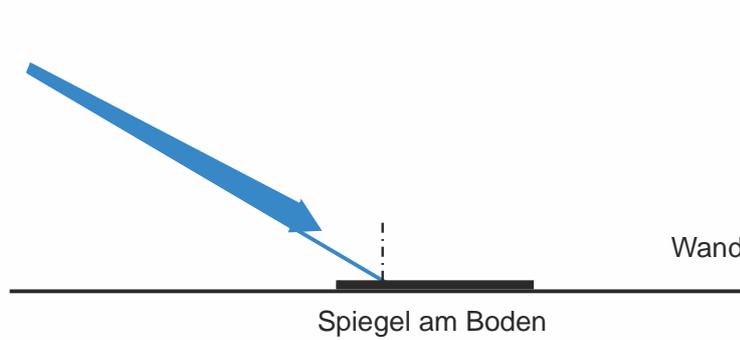


Abb. 3: Ein Lichtkegel wird an einem Spiegel reflektiert.

- c) Erkläre in eigenen Worten, was der Unterschied zwischen Streuung und Reflexion ist:

Streuung:.....

Reflexion:.....

- d) Betrachte Abb. 4: Auch bei der Streuung an einer rauen Oberfläche kannst du das Reflexionsgesetz anwenden. Warum wird das Licht hier in verschiedene Richtungen verteilt? Erkläre!

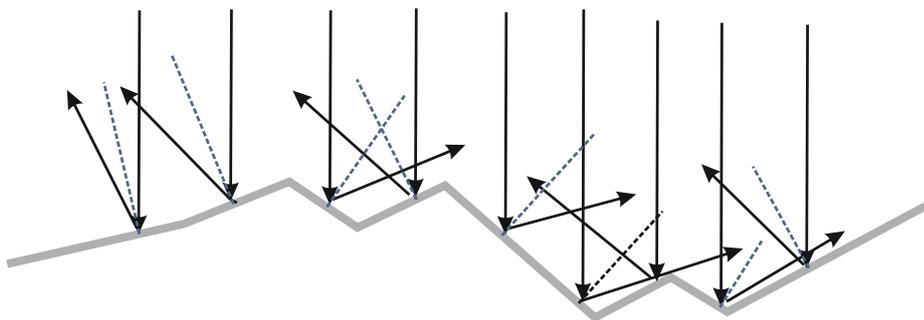


Abb. 4: Auch bei einer rauen Oberfläche gilt das Reflexionsgesetz.

## Das Spiegelbild und das Reflexionsgesetz

Jetzt wollen wir den genauen **Zusammenhang zwischen Spiegelbild und Reflexionsgesetz** betrachten.

Erinnere dich, was du über das Spiegelbild eines Gegenstandes bereits weißt:

- 1) Das Spiegelbild entsteht **hinter dem Spiegel** und zwar gleich weit hinter dem Spiegel, wie sich der Gegenstand vor dem Spiegel befindet.
- 2) Der Ort des Spiegelbilds eines Gegenstandes bleibt gleich, auch wenn du deine Position vor dem Spiegel änderst.
- 3) Das Licht geht vom Gegenstand über den Spiegel zum Auge der Beobachterin. Das **Reflexionsgesetz** gilt für den Lichtweg.
- 4) Ein Gegenstand wird **in der Richtung wahrgenommen**, aus der das Licht in das Auge des Beobachters strömt.

### Arbeitsauftrag 1:

Abb. 1 wird dir helfen herauszufinden, warum das Spiegelbild spiegelsymmetrisch zum Gegenstand liegt:

- a) Konstruiere zuerst das Spiegelbild der Kerzenflamme durch „Spiegeln“.
- b) Konstruiere dann den weiteren Verlauf des eingezeichneten Lichtkegels. Nutze dabei das Reflexionsgesetz.
- c) Verlängere den **reflektierten** Kegel über den Spiegel hinaus. Wo schneiden sich die Randstrahlen des Kegels?
- d) Wenn du nun 4) von der Zusammenfassung über das Spiegelbild mit dem Ergebnis von c) kombinierst, dann hast du auch das Geheimnis gelüftet, warum das Spiegelbild hinter dem Spiegel entsteht. Wenn du es herausgefunden hast, dann schreibe deine Vermutung nieder:

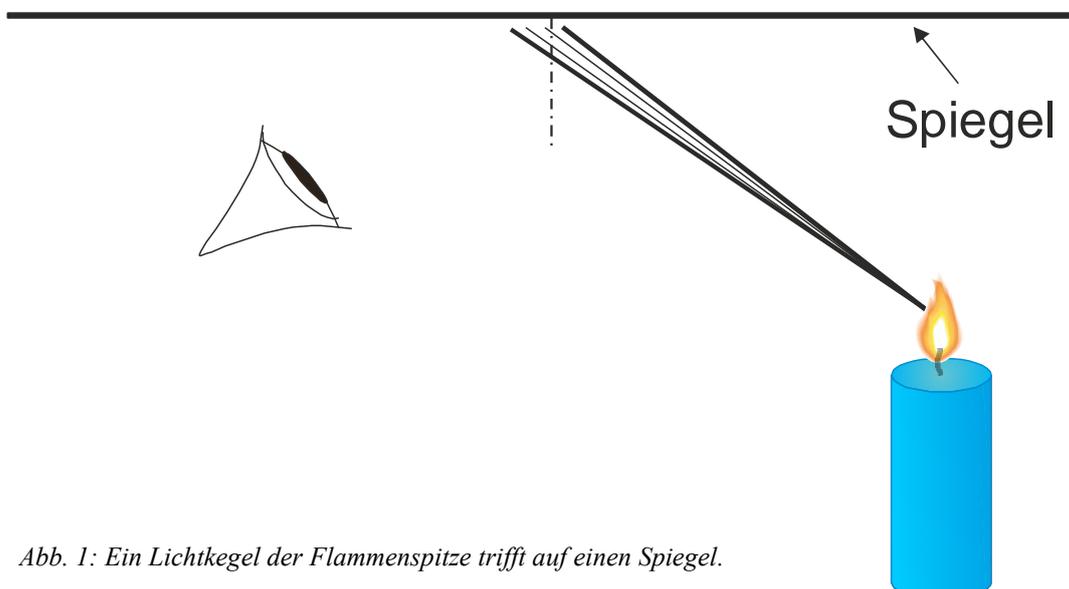


Abb. 1: Ein Lichtkegel der Flammenspitze trifft auf einen Spiegel.

## **Warum sieht eine Beobachterin das Spiegelbild an dem Ort, den du konstruiert hast?**

Ein Gegenstand oder das Bild eines Gegenstandes wird immer **in der Richtung wahrgenommen, aus der das Licht ins Auge fällt**. Die „Vergangenheit“ des Lichtkegels vor der Reflexion spielt keine Rolle für das, was du siehst.

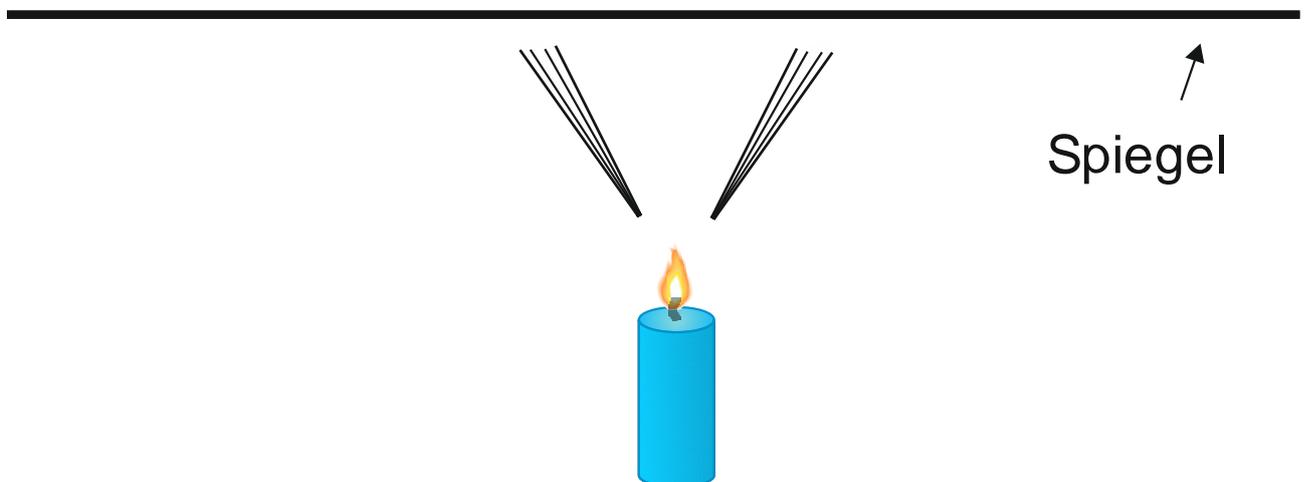
Egal wo sich der Lichtsender wirklich befindet, du nimmst ihn immer in der Verlängerung des Lichtkegels wahr, der in dein Auge trifft. Das ist der Grund, warum es so etwas wie ein Spiegelbild gibt.

Bei dem Spiegelbild handelt es sich um ein **virtuelles Bild**, weil der Strahl von keinem Leuchtpunkt hinter dem Spiegel kommt. Die Lichtkegel treffen sich nicht wirklich, nicht real. Es schneiden sich nur Lichtstrahlen, eines gedachten, geradlinigen Lichtwegs

### Arbeitsauftrag 2:

Nun sollst du herausfinden, warum verschiedene Beobachterinnen das Spiegelbild immer an derselben Stelle sehen (siehe Abb. 1):

- Konstruiere den weiteren Verlauf der Lichtkegel.
- Zeichne zwei verschiedene Beobachter-Augen ein, in die die beiden reflektierten Lichtkegel fallen können.
- Wo nehmen die beiden Beobachterinnen das Spiegelbild jeweils wahr?



*Abb. 1: Die beiden Lichtkegel werden am Spiegel reflektiert.*

### XIII. Die Brechung – wenn ein Lichtstrahl die Biege macht

Wie du bereits weißt, strömt Licht geradlinig. Das Licht kommt aber nicht immer auf einer direkten Linie von einem Lichtsender in das Auge. Das kann passieren, wenn das Licht zwischen Sender und Auge „gebrochen“, also geknickt, wird. Die folgenden Experimente zeigen dir, was damit gemeint ist.

Führe diese Experimente zu Hause durch:

- a)
- 1) Lege auf den Boden eines Topfes oder einer Schüssel eine Münze (siehe Abb. 1).
  - 2) Setze dich so, dass du gerade noch den hinteren Rand der Münze sehen kannst.
  - 3) Gieße vorsichtig Wasser in den Topf oder die Schüssel, ohne den Kopf zu bewegen.
  - 4) Was beobachtest du, wenn das Wasser im Topf steigt? Notiere!

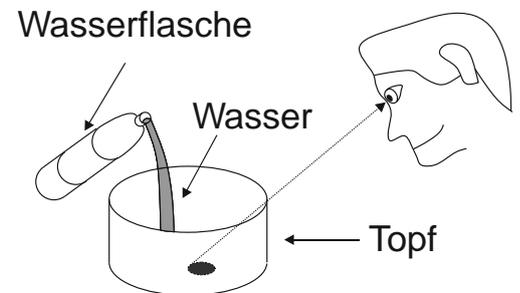


Abb. 1: Du beobachtest eine Münze in einem Topf.

- b)
- 1) Besorge dir ein ca. 10 cm langes Stück von einem Strohhalm.
  - 2) Fülle in eine flache Schüssel etwa 5 cm hoch Wasser.
  - 3) Fixiere den Strohhalm mit Kaugummi am Rand der Schüssel. Der Strohhalm soll dabei einen Winkel von ungefähr  $30^\circ$  mit der Wasseroberfläche bilden. Der Strohhalm darf nicht ins Wasser eintauchen (siehe Abb. 2).
  - 4) Lege eine Münze so in die Schüssel, dass du den von dir entferntesten Rand der Münze durch den Strohhalm sehen kannst.
  - 5) Als nächstes schiebst du einen langen Spieß durch den Strohhalm.
  - 6) Trifft der Spieß die Münze an der Stelle, die du durch den Strohhalm gesehen hast? Notiere, was du beobachtest.

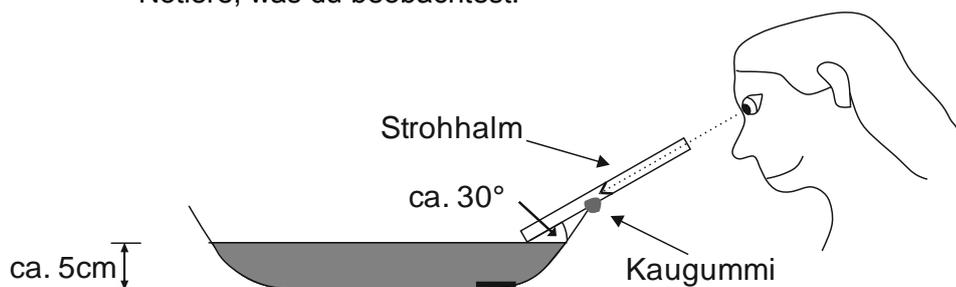


Abb. 2: Du beobachtest eine Münze durch den Strohhalm.

- c)
- Sieh dir Abb. 2 noch einmal an:
- 1.) Zeichne ein, wo der Spieß ist.
  - 2.) Warum kannst du die Münze überhaupt sehen? Beschreibe den Lichtweg bis in dein Auge. **VON NIX KOMMT NIX!**
  - 3.) Vergleiche den Weg, den der Spieß markiert, mit dem Lichtweg von der Münze zum Auge. Glaubst du, dass es Unterschiede zwischen beiden Wegen gibt? Begründe deine Entscheidung.

**Lies auf S. 72 die Lösungen und die Erklärungen zur Brechung von Licht.**

## Das Brechungsgesetz

Du wirst jetzt lernen, wann Brechung auftritt und welche Arten von Brechung es gibt. Unten siehst du, wie ein Lichtstrahl an einem Acrylglasblock gebrochen wird (siehe Abb. 1). Du siehst auf dem Foto nicht nur mehrere Brechungen sondern auch Reflexionen.

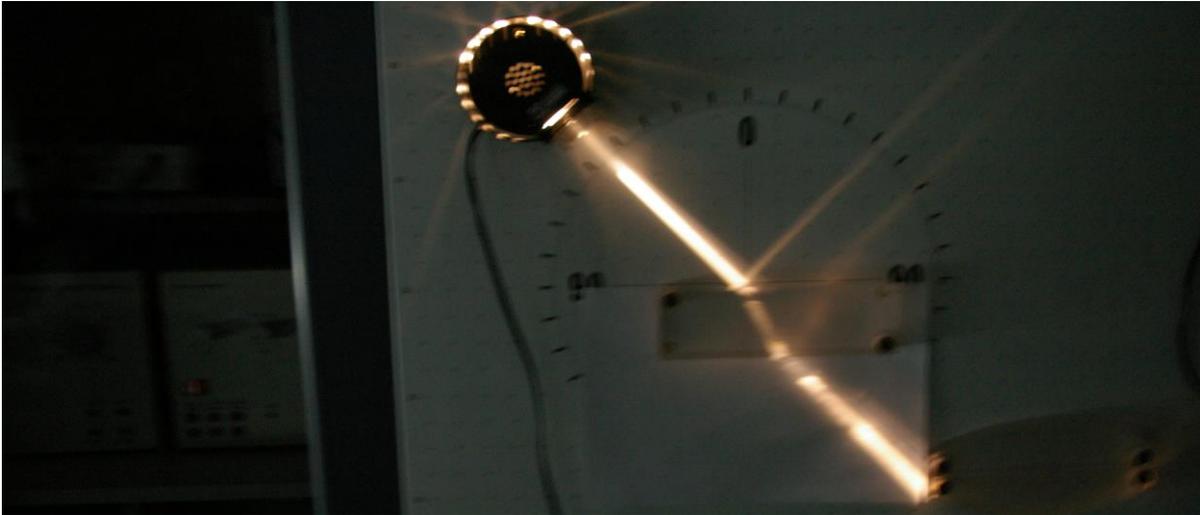


Abb. 1: Ein Lichtstrahl wird an Acrylglas gebrochen und reflektiert.

### Aufgabe:

- Kennzeichne im Foto:
  - die Stellen, an denen Brechung stattfindet, mit "B".
  - die Stellen, an denen Reflexion stattfindet, mit "R".
- Überlege mit deiner Sitznachbarin / mit deinem Sitznachbarn: Gibt es eine Regel wann Brechung und wann Reflexion stattfindet?

### Du siehst in Abbildung 1:

Verläuft der Lichtstrahl von Luft zu Acrylglas, wird er an der Grenze steiler. Wir bezeichnen das als **Brechung zum Lot**. Verläuft der Lichtstrahl vom Acrylglas zur Luft, wird er an der Grenze flacher. Wir bezeichnen das als **Brechung vom Lot**.

Der Brechvorgang wird mit den Größen **Einfallswinkel  $\alpha$**  und **Brechungswinkel  $\beta$**  beschrieben (siehe Abb. 2). Einfallswinkel und Brechungswinkel werden zum Lot gemessen. Erinnerung dich, wir hatten das Lot schon beim Reflexionsgesetz. Das Lot ist eine senkrechte Linie auf die Fläche, an der das Licht gebrochen wird.

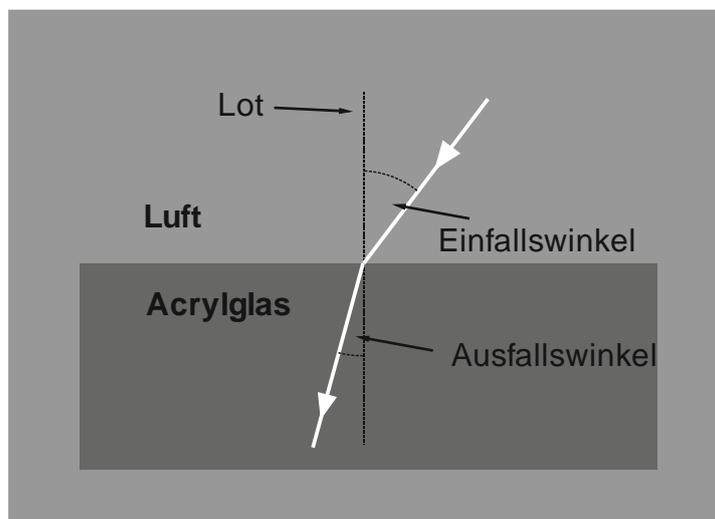


Abb. 2: Hier siehst du eine schematische Darstellung von der Brechung zum Lot.

Du siehst, die Brechung entsteht durch den Verlauf des Lichtes von einem Stoff zu einem anderen Stoff. Luft und Acrylglas sind für Licht „anders“. Diese unterschiedliche Eigenschaft von Luft und Acrylglas wird durch den Begriff **optische Dichte** beschrieben. Wenn ein Stoff optisch dichter ist, dann bewegt sich das Licht in diesem Stoff langsamer fort.

In Abb. 1<sup>xviii</sup> siehst du Screenshots von einem Applet von Leifi Physik. Dieses Applet zeigt dir, wie du dir die Brechung vorstellen kannst.

<http://www.leifiphysik.de/optik/lichtbrechung/ausblick/brechungsursache>

Die Achse eines Spielzeugautos rollt von einer glatten Oberfläche auf eine raue Oberfläche. Das linke Rad der Achse kommt zuerst auf die raue Oberfläche. Das linke Rad wird also früher abgebremst. Die Achse kippt. Ganz ähnlich kannst du dir das bei Licht vorstellen.

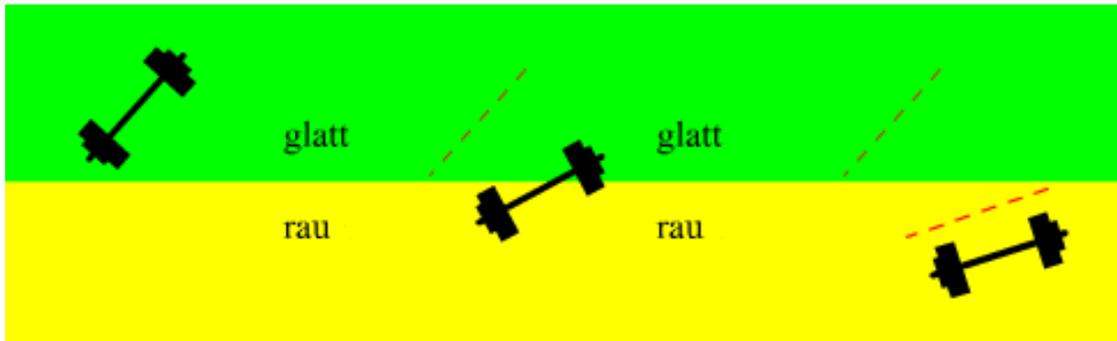


Abb. 1: Die Achse wird an der rauhen Oberfläche abgebremst.

## Wann tritt Brechung vom Lot bzw. zum Lot auf?

Das **Brechungsgesetz** beantwortet diese Frage:

**Brechung zum Lot: Ein Lichtstrahl läuft von einem optisch dünneren in einen optisch dichteren Stoff.**

(Beispiel: Übertritt von Luft zu Wasser)

**Brechung vom Lot: Ein Lichtstrahl läuft von einem optisch dichteren in einen optisch dünneren Stoff.**

(Beispiel: Übertritt von Wasser zu Luft)

Für die Brechung ist alleine der Übertritt des Lichts zwischen den Stoffen verantwortlich. Brillen und Lupen funktionieren durch Brechung. Tauchst du eine **Lupe** in Wasser, so funktioniert sie schlechter. Das liegt daran, dass der Übergang des Lichtes von Glas zu Wasser „sanfter“ ist, als von Glas zu Luft. Das Licht ändert die Ausbreitungsgeschwindigkeit bei diesem Übergang (Glas - Wasser) weniger stark und wird daher auch weniger stark gebrochen. Die Funktion einer Lupe beruht aber gerade auf dem Prinzip der Brechung.

### Arbeitsauftrag:

Beschreibe in eigenen Worten was passiert, wenn Licht durch eine Linse durchgeht. Verwende zu deiner Erklärung das Prinzip der Brechung. Erinnerung dich zum Beispiel an die Lochkamera mit Linse. Und vergiss nicht - **VON NIX KOMMT NIX.**

## Brechung von Licht an einer gekrümmten Oberfläche

Wie wird Licht an einer nicht geraden Oberfläche gebrochen? Um diese Frage zu beantworten, zerlegen wir dieses neue Problem in lauter kleine bekannte Probleme. Stell dir vor, dass eine gekrümmte Fläche aus lauter kleinen, ebenen Flächenstücken besteht. Für diese Flächenstücke wendest du jeweils das bekannte Brechungsgesetz an (siehe Abb.1).

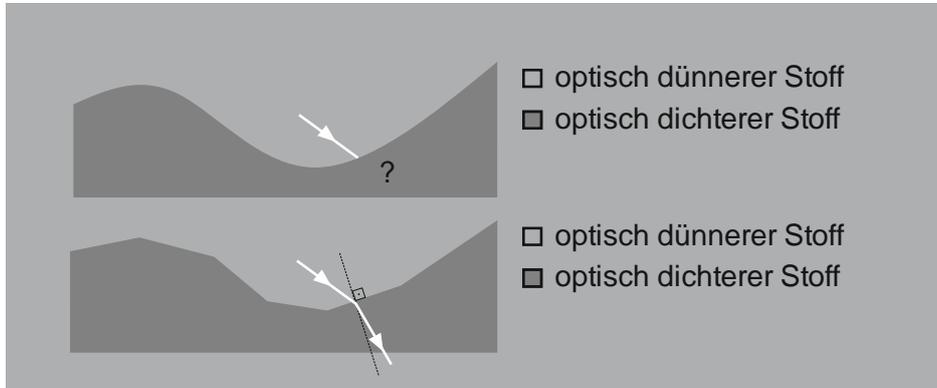


Abb. 1: Eine gekrümmte Fläche wird durch mehrere ebene Flächen angenähert.

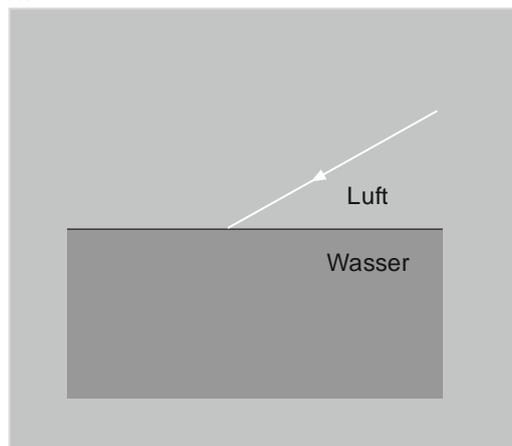
Erinnere dich an den Mathematikunterricht: Mit einer Tangente kannst du eine Kurve an einer Stelle am besten annähern.

### Aufgaben:

Josef hat sich die Mühe gemacht und einige Lichtübergänge ausgemessen. Hier ist seine Tabelle:

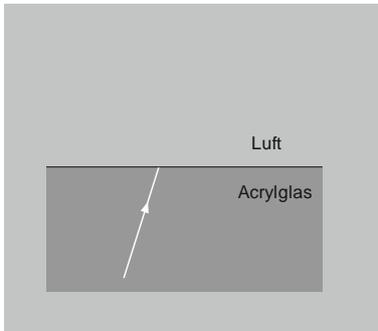
Einfallswinkel $\alpha$ in Luft (in Grad)	Brechungswinkel $\beta$ in Acrylglas (in Grad)	Brechungswinkel $\beta$ in Wasser (in Grad)
10	6,6	7,5
20	13,2	14,9
30	19,5	22,1
40	25,4	28,9
50	30,7	35,2
60	35,3	40,6
70	38,8	45
80	41	47,8
90	41,8	48,8

- a) Zeichne den Einfallswinkel ein. Verwende Josefs Tabelle, um den weiteren Verlauf des Lichtstrahls einzuzeichnen.

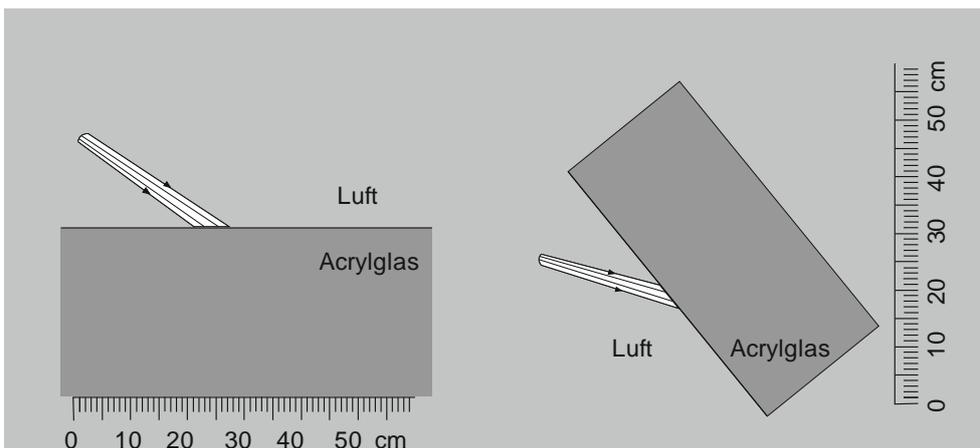


b) Was glaubst du: Ändert sich etwas in deiner Zeichnung in Beispiel a, wenn das Licht in die umgekehrte Richtung, also vom Wasser zur Luft, strömt? Betrachte dazu Abb. 1 auf S. 66. Formuliere einen passenden Merksatz zu deiner Vermutung.

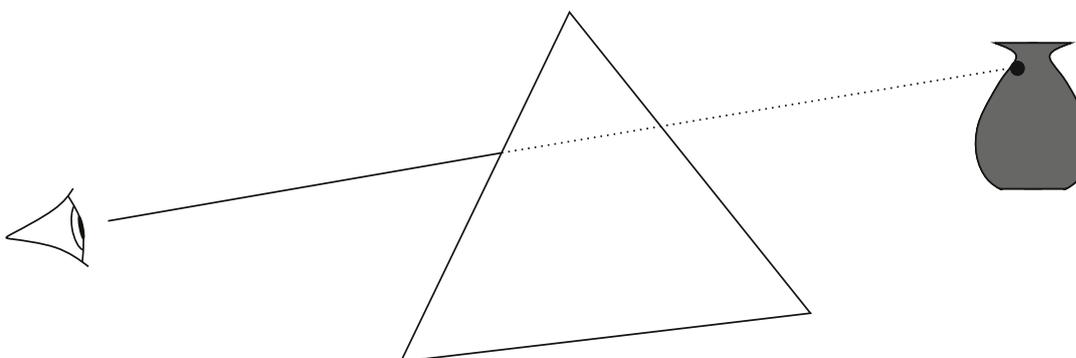
c) Nutze deine Vermutung aus b um den weiteren Verlauf des Lichtstrahls einzuzeichnen. Lies dazu Josefs Tabelle richtig.



d) Zwischen welchen Markierungen trifft der Lichtkegel auf das Lineal?

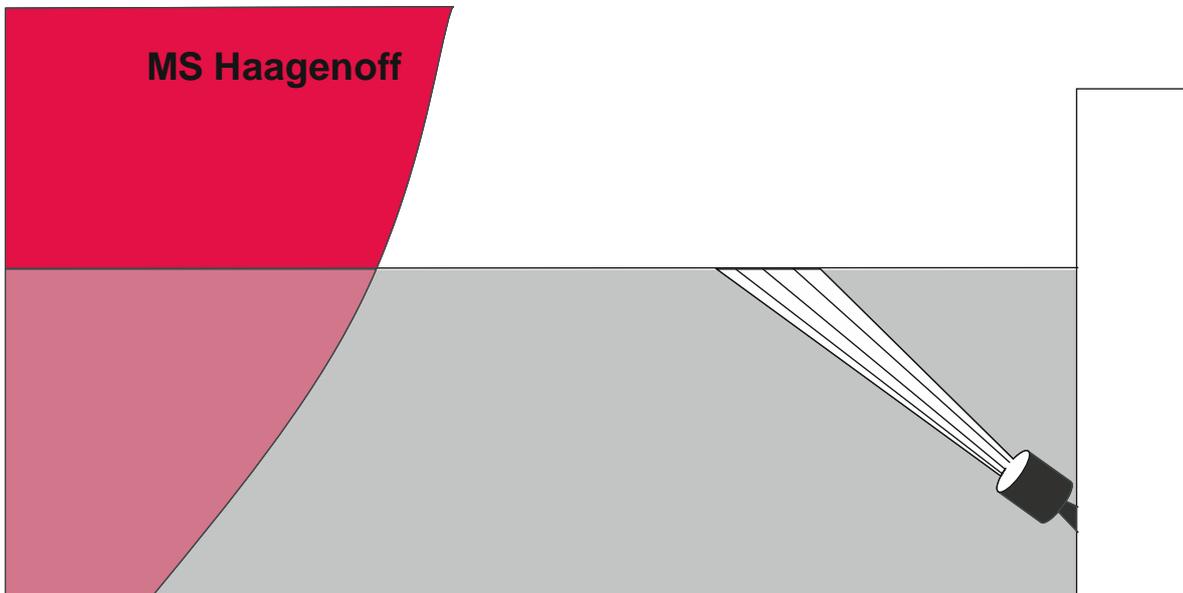


e) Eleonore sieht durch ein Acrylglasprisma und sieht die Vase an dem gezeichneten Ort. In welcher Richtung steht die Vase wirklich? Konstruiere mit Hilfe von Josefs Tabelle und schätze Zwischenwerte.

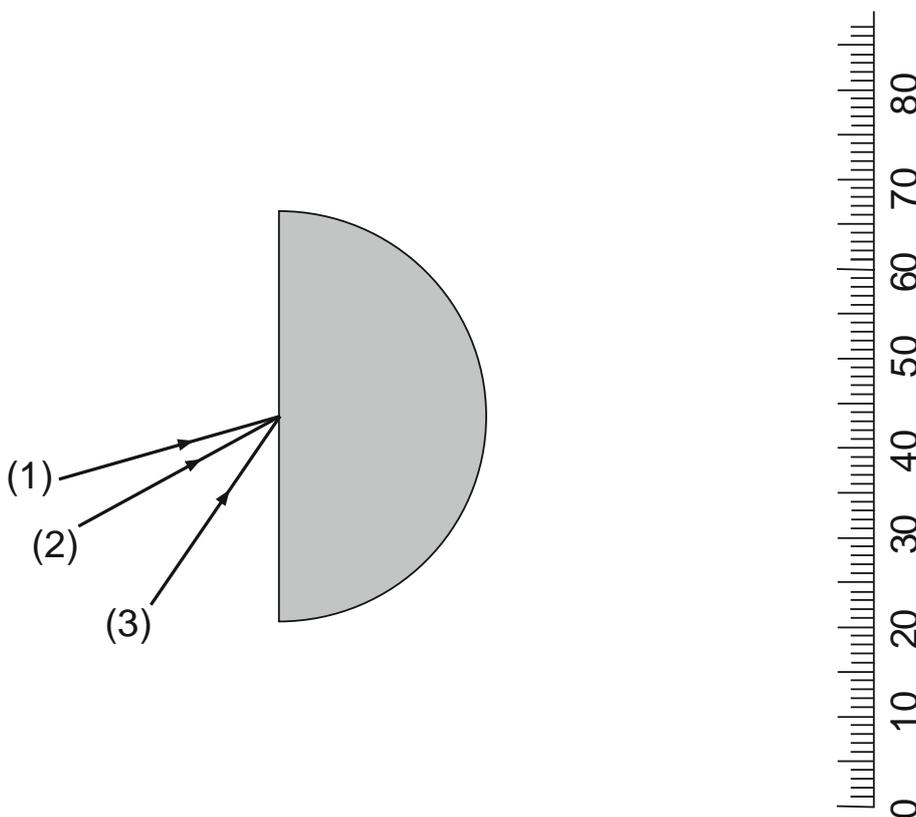


Aufgaben:

a) Das Schiff soll abends im Hafen beleuchtet werden. Trifft der Scheinwerfer die Schiffswand?



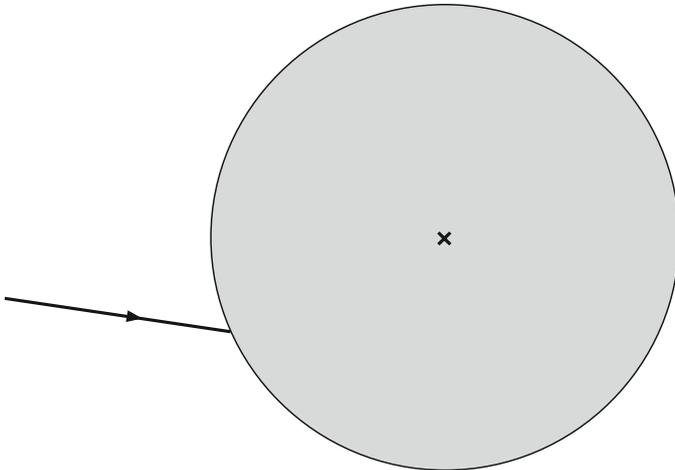
b) Wo treffen die Lichtstrahlen auf das Lineal? Nutze Tangenten zur Annäherung der Kreisfläche.



Für Fortgeschrittene:

Ein Lichtstrahl trifft auf einen Wassertropfen, der hier kugelförmig eingezeichnet ist. Zeichne den weiteren Verlauf des Lichtstrahls beim Verlassen des Wassertropfens.

- 1) Benutze Josefs Tabelle.
- 2) Schätze notfalls Zwischenwerte ab.
- 3) Nähere die Kugelfläche durch Tangenten an.



## Die Totalreflexion

Betrachte nochmal Abb. 1 auf Seite 72. Du siehst, dass bei den verschiedenen Übergängen ein Teil des Lichtes gebrochen wird, ein Teil des Lichtes wird reflektiert. Tritt Totalreflexion auf, wird das gesamte Licht reflektiert und es tritt **keine Brechung** auf.

Totalreflexion kann nur auftreten, wenn das Licht von einem optisch dichten in ein optisch dünneres Medium übertritt.

Damit Totalreflexion auftreten kann, muss das Licht sehr flach auf die Grenzfläche auftreffen. Der Winkel an dem Totalreflexion auftritt, heißt **Grenzwinkel**.

### Beobachte zu Hause:

Lege einen Bleistift auf ein mit Wasser gefülltes Glas. Was beobachtest du, wenn du von schräg unten möglichst flach zum Bleistift blickst (siehe Abb. 1)?

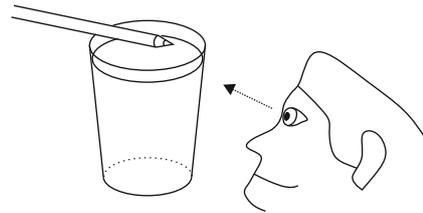


Abb. 1: Blicke schräg hinauf zum Bleistift.

### Deine Lehrkraft zeigt dir folgenden Versuch. Beobachte:

In einen Glasbehälter wird Zuckerwasser mit etwas Milch gegeben. Deine Lehrkraft leuchtet mit einem Laserpointer leicht schräg in den Behälter hinein (siehe Abb. 2). Du siehst, wie der Laserstrahl gebogen wird.

Das Zuckerwasser hat im Behälter nicht überall die gleiche Konzentration. Unten befindet sich mehr Zucker, dort ist das Wasser **optisch dichter**.

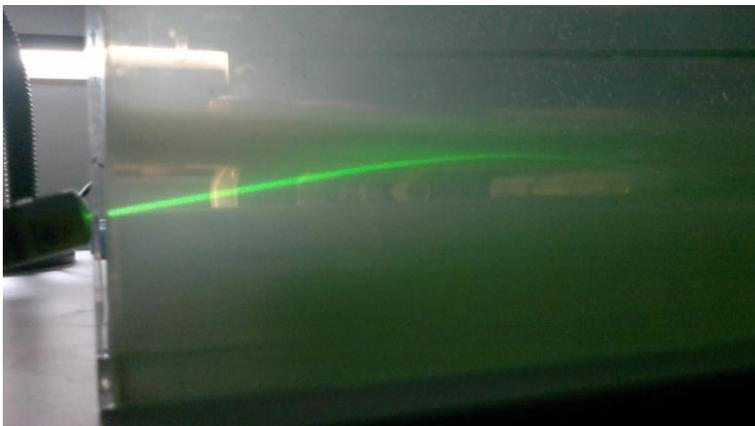


Abb. 2: Der Laserstrahl wird im Zuckerwasser „gebogen“.

Stell dir vor, dass mehrere Schichten mit **unterschiedlich dichten Flüssigkeiten** im Behälter sind (siehe Abb. 3). Leuchtet man von unten in den Behälter hinein, durchläuft der Laserstrahl immer wieder Übergänge von optisch dichteren Schichten zu optisch dünneren Schichten. Das bedeutet jedes Mal eine Brechung vom Lot. Irgendwann verläuft der Laserstrahl so flach, dass

Totalreflexion auftritt und der Laserstrahl ganz reflektiert wird. Danach gibt es jedes Mal Brechung zum Lot. Der Laserstrahl bildet sozusagen einen Bogen.

Überlege: Warum kannst du den Laserstrahl überhaupt sehen?

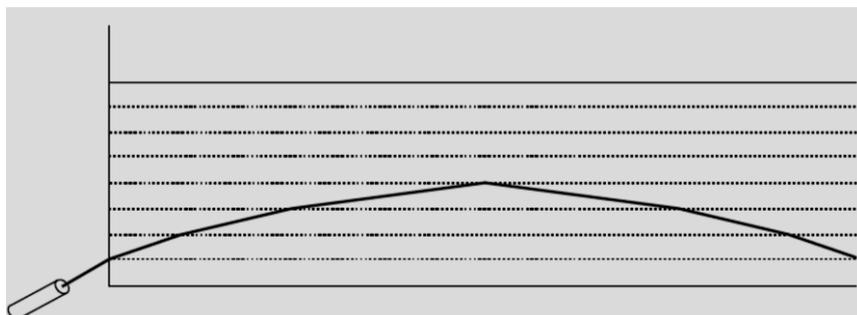


Abb. 3: Der Laserstrahl geht durch unterschiedlich dichte Schichten von Zuckerwasser.

## Die Totalreflexion ist für viele technische Anwendungen sehr interessant:

Man benutzt dünne Glasfasern, um Informationen durch Lichtsignale zu übermitteln. Diese Glasfasern heißen auch **Lichtleiter**.

Die Fasern sind so dünn, dass das Licht nur sehr flach auf die Außenwände auftreffen kann. Es tritt ausschließlich Totalreflexion auf.

Mit diesen Lichtleitern kann Licht über große Distanzen und sogar um Kurven geschickt werden. Große Datenmengen werden heute mit Glasfaserkabeln übertragen. Das Prinzip hinter der Glasfaser erkennst du schön in Abb. 1.

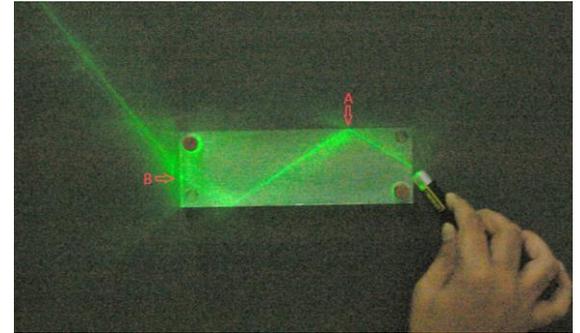


Abb. 1: Der Laserstrahl ist im Glasblock eingesperrt.

Frage: Warum kann das Licht den Glasblock am Punkt B verlassen, aber am Punkt A nicht?

Auch für **Tischlampen** eignen sich Glasfasern (siehe Abb. 2<sup>xix</sup>):

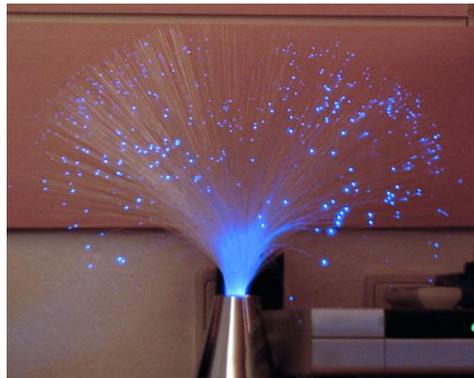


Abb. 2: Eine Lampe aus Glasfasern

Die Lichtquelle befindet sich im Sockel der Lampe. Die feinen Glasfasern transportieren das Licht bis an die Spitzen der Fasern. An den Spitzen sind kleine Kügelchen, die das Licht verlassen kann.

Frage: Warum leuchten in Abb. 2 die Fasern nicht so hell, wie die Kügelchen am Ende der Fasern?

In der Medizin werden Lichtleiter ebenfalls eingesetzt. Man benutzt **Endoskope** um Nase, Magen oder Darm von innen zu betrachten (siehe Abb. 3<sup>xx</sup>).



Abb. 3: Ein Endoskop

## Abbildungen mit der Sammellinse

Du hast die Sammellinse schon kennengelernt, als du deine Lochkamera verbessert hast. Die Sammellinse ist ein **optischer Bauteil**, der Licht zusammenlenkt. Die Sammellinse nutzt dabei das Prinzip der **Lichtbrechung**.

Du lernst nun, wie Sammellinsen Gegenstände abbilden:

### Beobachte:

Deine Lehrkraft beleuchtet Gegenstände und bildet sie mit einer Sammellinse auf einem Schirm ab (siehe Abb. 1). Du siehst, dass das Bild wie bei der Lochkamera **verkehrt ist und am Kopf steht**.



Abb. 1: Eine große Sammellinse bildet Gegenstände auf einem Schirm ab.

Besonders an diesem Bild von der Sammellinse ist, dass es noch zu sehen ist, wenn wir den Schirm weggeben.



Abb.2: Der Schirm soll weggenommen werden.

Deine Lehrkraft führt den Versuch nun durch: Was passiert, wenn man den Schirm wegnimmt? Entsteht wirklich ein Luftbild?

### Arbeitsauftrag:

Stelle dich so hin, dass du hinter dem Schirm stehst und durch die Linse auf den Gegenstand schauen kannst. Nimm nun deine als Entfernungsmesser umfunktionierte Lochkamera.

- Stell deinen Entfernungsmesser auf den Schirm scharf.
- Deine Lehrkraft nimmt jetzt den Schirm weg. Was beobachtest du?
- Beschreibe den Lichtweg von der Lampe bis zur Lochkamera.

#### XIV. Bildentstehung: Wie entsteht das Bild einer Sammellinse?

Wir schauen uns den Abbildungsvorgang für eine rote LED an: Die Linse bündelt einen Teil des Lichtes, das die LED abstrahlt. Vom **Leuchtfleck** breitet sich das Licht in einem immer größer werdenden Lichtkegel aus. Die Sammellinse wandelt diesen größer werdenden Lichtkegel in einen zusammenlaufenden Lichtkegel um. Das funktioniert durch die Brechung an der Linse. Du weißt ja: Licht ist anders. Das so gebündelte Licht wird auf den **Bildfleck** konzentriert (siehe Abb. 1).

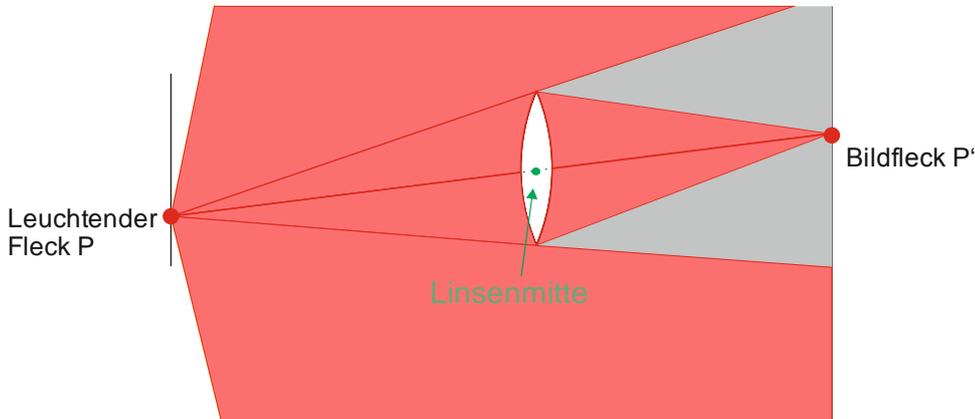


Abb. 1: Die Linse bündelt einen Lichtkegel, der von einem Leuchtfleck kommt. Das Licht wird in einem Punkt konzentriert.

Leuchtfleck, Bildfleck und Linsenmitte liegen auf einer Geraden (siehe Abb. 1). Das erinnert dich vielleicht an die Lochkamera. Die Linse funktioniert ähnlich wie das Loch bei der Lochkamera. Die Linse kann jedoch einen größeren Teil des Lichtes, das die LED abstrahlt, in den Bildpunkt überführen. (Erinnere dich, wir haben in die Lochkamera eine Linse eingebaut, um ein helleres Bild zu erhalten.)

Als nächstes wollen wir herausfinden, wie die Sammellinse **mehrere Lichtflecken gleichzeitig** abbildet. Deine Lehrkraft wird dazu wieder den LED Spot verwenden, den sie mit einer Sammellinse abbildet. Sie deckt einzelne LEDs des Spots ab.

Du siehst, die Bilder der anderen LEDs ändern sich dadurch nicht. Die Lichtkegel der verschiedenen LEDs stören sich nicht, wenn sie gleichzeitig durch die Linse strömen. Du weißt ja: Licht ist anders. Wenn eine LED abgedeckt wird, verändert sich das Bild der anderen LEDs nicht.

Die folgende Abbildung veranschaulicht das Prinzip der **ungestörten Durchdringung der Lichtkegel** (siehe Abb. 2):

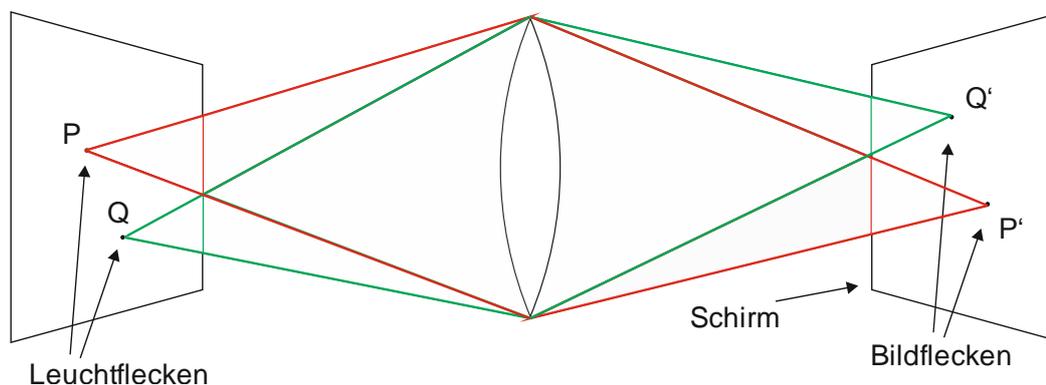


Abb. 2: Ungestörte Durchdringung von Lichtkegeln verschiedener Leuchtflecken.

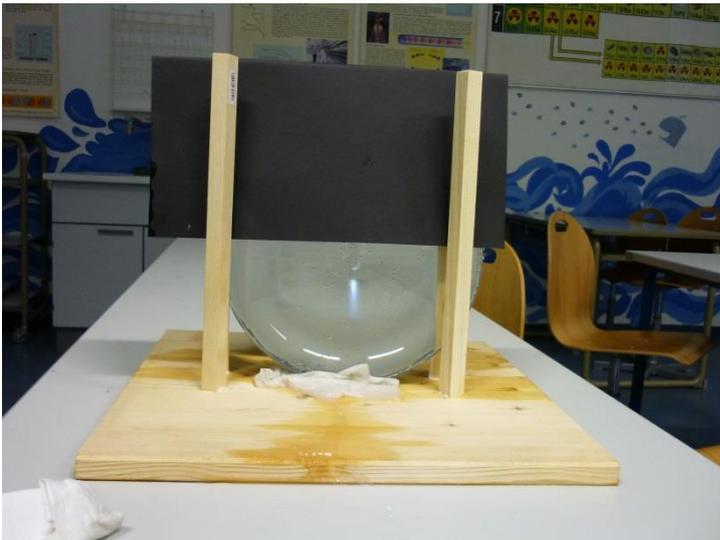
Wie du schon weißt, kannst du dir einen sichtbaren Gegenstand als eine **Zusammensetzung von vielen leuchtenden Flecken** vorstellen. So wie beim Display eines Handys, wo das Bild aus vielen selbst leuchtenden Pixeln zusammengesetzt wird. Eine Sammellinse führt den Abbildungsvorgang für alle diese Leuchtflecken durch. Als Zusammensetzung aller zugehöriger Bildflecken entsteht dann das Bild.

### **So wird ein Gegenstand durch eine Sammellinse abgebildet:**

- **Zerlegen:** Ein sichtbarer Gegenstand besteht aus vielen Teilen, die Licht abstrahlen (Leuchtflecke). Im abgestrahlten Licht von jedem Fleck, muss ein Lichtkegel sein, der in Richtung Linse strömt. Dieser Lichtkegel geht vom Leuchtfleck aus und wird in Richtung Linse breiter.
- **Sammeln:** Die Sammellinse führt diesen Lichtkegel wieder zusammen und bildet einen neuen Lichtkegel, der zusammenläuft. Befindet sich ein Schirm dort, wo der neue Lichtkegel seine Spitze hat, entsteht auf dem Schirm ein scharfer Bildfleck  $P'$ .
- **Zusammensetzen:** Jeder Leuchtfleck des Gegenstandes führt genau zu einem Bildfleck. Alle Bildflecken setzen sich zu einem Bild des Gegenstandes zusammen. Das Bild ist kopfstehend und seitenverkehrt.

### Arbeitsauftrag:

- a) Formuliere in eigenen Worten einen Merksatz dafür, wann wir in der Physik von dem Bild eines Gegenstandes sprechen.
- b) Ein Gegenstand wird mit einer Sammellinse auf einem Schirm abgebildet. Wie verändert sich das Bild, wenn ein Teil der Linse abgedeckt wird? (siehe Abb. 1)



*Abb. 1: Wie verändert sich das Bild, wenn ein Teil der Linse abgedeckt wird?*

- c) Begründe deine Meinung. Zeichne dazu die Abbildung eines Punktes  $P$  mit entsprechenden Lichtkegeln.

## Die Konstruktion des Bildes bei der Sammellinse

Zuvor hast du gelernt, warum eine Linse Gegenstände abbilden kann. Jetzt wirst du lernen, wie du den Ort und die Größe des Bildes bestimmst.

### Lichtstrahlen

Du wirst im Folgenden mit Lichtstrahlen arbeiten. Diese Lichtstrahlen erhältst du, wenn du ganz dünne Lichtkegel aus einem großen Lichtkegel herausgreifst (siehe Abb. 1). Die Lichtstrahlen werden dir später helfen, das Verhalten des ganzen Lichtkegels zu verstehen.

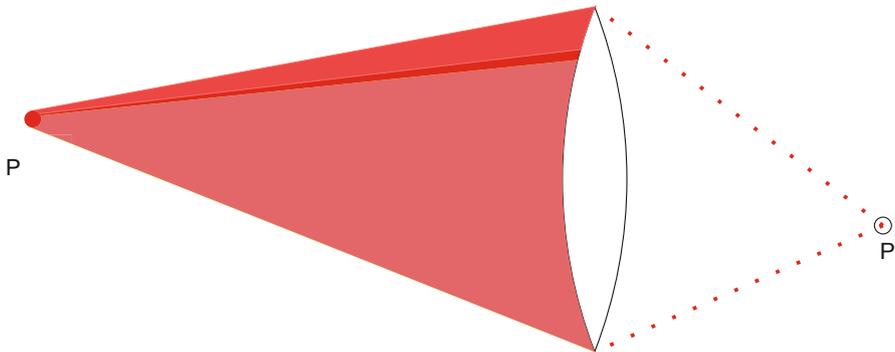


Abb. 1: Von dem großen Lichtkegel wird nur ein Lichtstrahl betrachtet.

Als nächstes musst du dir überlegen, wie ein Lichtstrahl durch die Linse verändert wird.

Arbeitsauftrag: Zeichnen in Abb. 2 die beiden Stellen ein, an denen ein Lichtstrahl durch die Linse gebrochen wird.

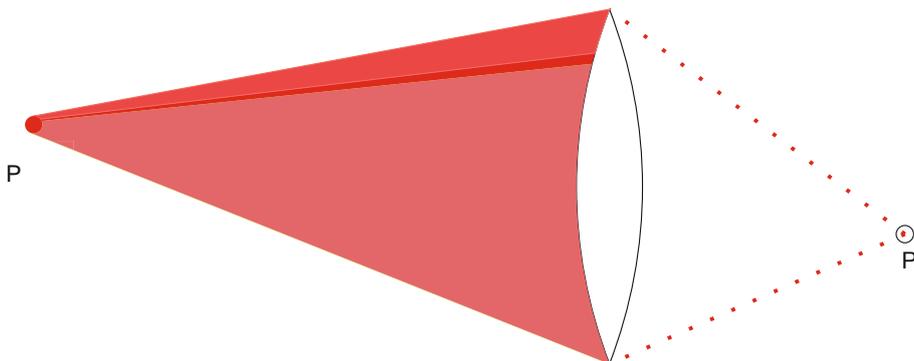


Abb. 2: Ein Lichtstrahl wird an einer Linse zweimal gebrochen

Arbeitsauftrag: Versuche nun zur Übung in den nächsten beiden Aufgaben (Abb. 3 und Abb. 4) richtige Wege für die Lichtstrahlen zu finden:

- In Abb. 3 ist ein Lichtkegel eingezeichnet, der vom Leuchtfleck P durch die Linse geht und beim Bildfleck P' zusammenläuft. Zwei Lichtstrahlen sind bis zur Linse gezeichnet. Zeichne ein, wie die Lichtstrahlen von der Linse zum Bildfleck P' gelangen.

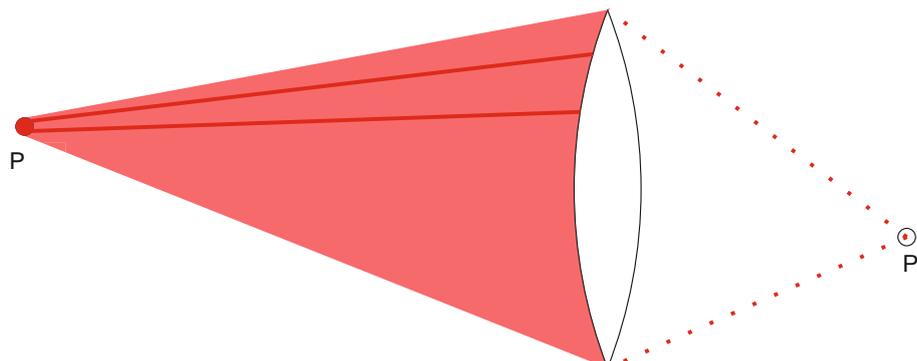


Abb. 3: Zwei Lichtstrahlen treffen auf eine Linse.

b) Wie kommen die Lichtstrahlen in Abb. 4 vom Leuchtfleck P zur Linse?

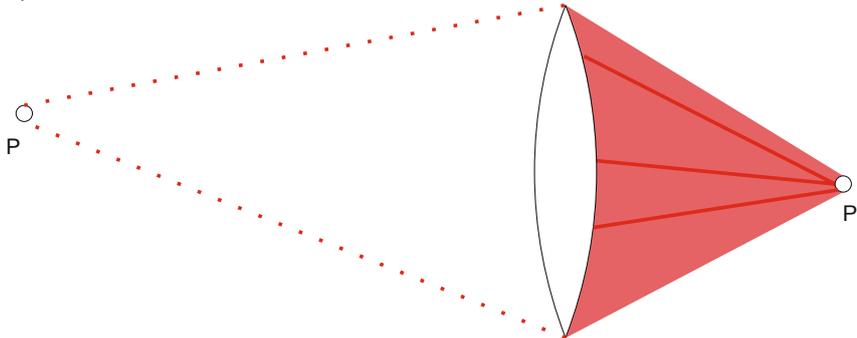


Abb. 4: Drei Lichtstrahlen gelangen von der Linse zum Punkt P'.

## Brennpunkt und Brennweite

Die Funktion der Sammellinse ist es, einfallendes Licht so umzulenken, dass es in zusammenlaufenden Kegeln weiterverläuft. Die Begriffe Brennpunkt und Brennweite beschreiben wo und wie stark die Linse das Licht sammelt.

**Brennpunkt (F):** Im Brennpunkt wird Licht, das parallel zur optischen Achse<sup>2</sup> einfällt, auf einer Stelle zusammengeführt. Danach läuft es wieder auseinander.

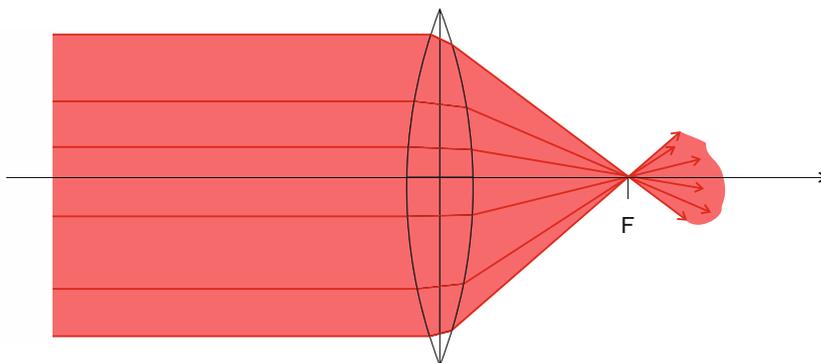


Abb. 5: Im Brennpunkt sammelt sich das Licht, das parallel zur optischen Achse einfällt.

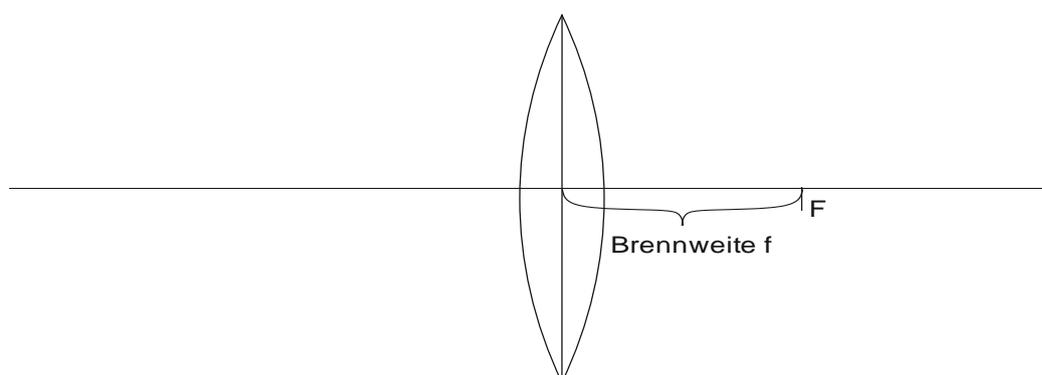


Abb. 6: Der Abstand von der Linsenmitte bis zum Brennpunkt ist die Brennweite.

**Brennweite (f):** Die Brennweite ist der Abstand vom Brennpunkt zur Linsenmitte.

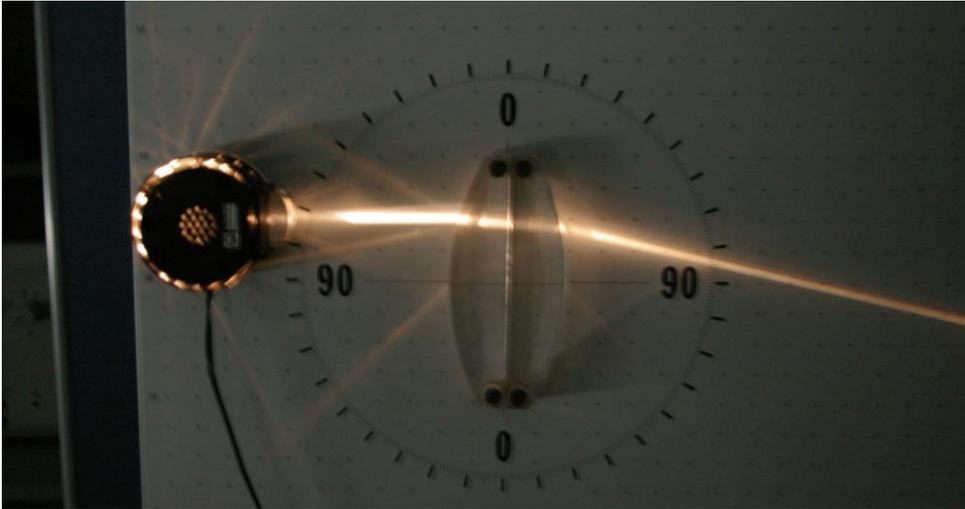
Den **Brennpunkt** einer Sammellinse kannst du leicht mit Sonnenlicht finden. Das Sonnenlicht trifft annähernd parallel auf die Erde. Bewege die Linse bei Mittagssonne über dem Boden auf und ab, bis der helle Punkt am Boden möglichst klein ist. Das ist der Brennpunkt deiner Sammellinse. Je kleiner der Abstand vom Brennpunkt zur Linse ist, desto stärker bricht die Linse das einfallende Licht ab. Zur Brechkraft hast du ja schon früher recherchiert.

<sup>2</sup>Die optische Achse siehst du in Abb. 6 eingezeichnet. Sie steht senkrecht auf die Linsenmitte.

## **Die Stellvertreter – Parallelstrahl und Mittelpunktstrahl**

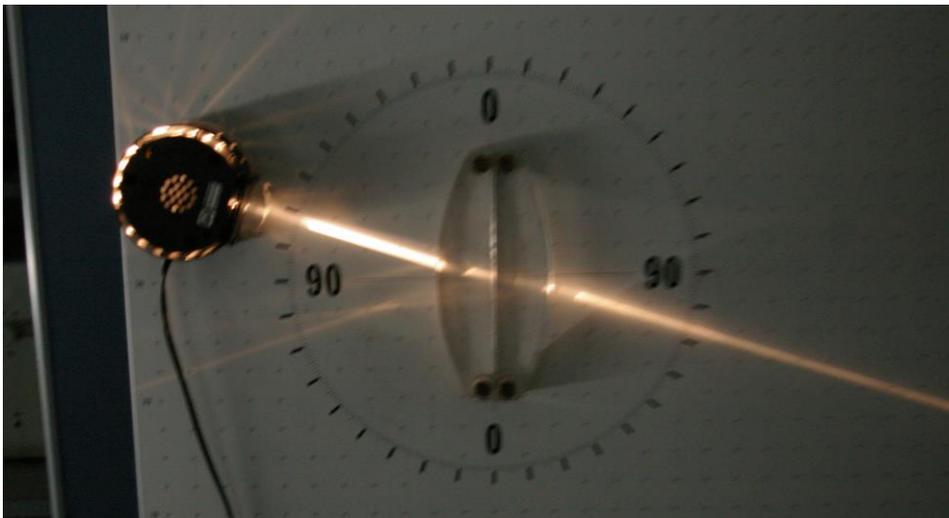
Diese beiden Strahlen werden gerne verwendet, weil ihr Verlauf leicht zu konstruieren ist. Schneiden sich Parallelstrahl und Mittelpunktstrahl eines Lichtkegels in einem Bildpunkt, so tun das (fast) alle anderen Strahlen des Lichtkegels auch. Deshalb sind diese Strahlen Stellvertreter für den Lichtkegel.

**Der Parallelstrahl:** Der Parallelstrahl trifft parallel zur optischen Achse auf die Linse und läuft danach durch ihren Brennpunkt.



*Abb. 1: Ein Parallelstrahl wird durch den Brennpunkt gebrochen.*

**Der Mittelpunktstrahl:** Der Mittelpunktstrahl geht fast geradlinig durch die Linse durch. (Das gilt näherungsweise für dünne Linsen. Durch die zweifache Brechung kommt es bei dickeren Linsen zu einer deutlichen Versetzung des Strahls.)



*Abb. 2: Der Mittelpunktstrahl geht gerade durch die Linse durch.*

### Überlege:

- Wie verläuft ein Lichtstrahl weiter, der erst durch den Brennpunkt läuft und dann auf die Linse trifft?
- Welches Prinzip erklärt dies?

## So konstruierst du das Bild einer Sammellinse

In Abb. 1 siehst du, wie du mit Hilfe der Stellvertreter das Bild von Punkt P konstruieren kannst.

Hast du P' durch die Konstruktion der beiden Stellvertreter gefunden, kannst du auch den gesamten Lichtkegel einzeichnen. Alle anderen Strahlen des Lichtkegels von P müssen sich ebenfalls in P' schneiden. Du kannst jetzt also beliebig viele Lichtstrahlen durch die Linse einzeichnen.

ACHTUNG: Das Bild von P entsteht auch, wenn diesen beiden Stellvertretern den Weg versperrt wird. Erinnerung dich an die zum Teil abgedeckte Linse von Seite 82. Auch wenn die Linse halb verdeckt ist, entsteht ein Bild. Die beiden Stellvertreter würden jedoch durch die Abdeckung blockiert werden. Deshalb ist es wichtig, sich immer den gesamten Lichtkegel vorzustellen und im Kopf zu behalten, dass neben den Stellvertretern noch unzählige, andere Strahlen im Lichtkegel verlaufen können.

a) Konstruiere das Bild von Leuchtpunkt Q.

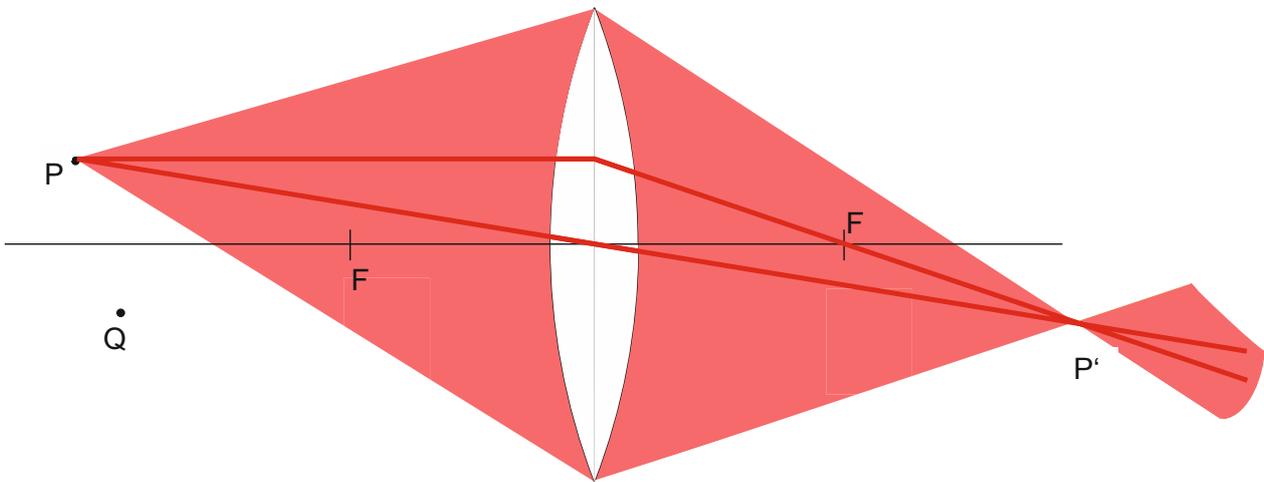


Abb. 1: P' kannst du mit der Hilfe der Stellvertreter finden. Konstruiere die Abbildung von Q.

### Zum Nachdenken:

- Abbildungen wie Abb. 1 sind schematische Darstellungen. Fachlich gesehen sind die Lichtstrahlen nicht richtig eingezeichnet. Überlege, wie der Parallelstrahl in Abb. 1 richtig verlaufen müsste?
- Hast du eine Idee, warum Strahlen häufig so eingezeichnet werden, obwohl das physikalisch falsch ist?
- Überlege in welchen Positionen ein/e Beobachter/in sein muss, damit sie die Bildpunkte P' und Q' sehen kann?

- a) P und Q sind die Endpunkte einer Kerze (siehe Abb. 2). Bestimme die Bildpunkte P' und Q' mit Hilfe von Parallel- und Mittelpunktstrahl. Skizziere danach das Bild der Kerze. Überprüfe mit der Konstruktion eines beliebigen Punktes der Kerze wie gut deine Skizze ist. Konstruiere danach das Beispiel mit dem Pfeil.

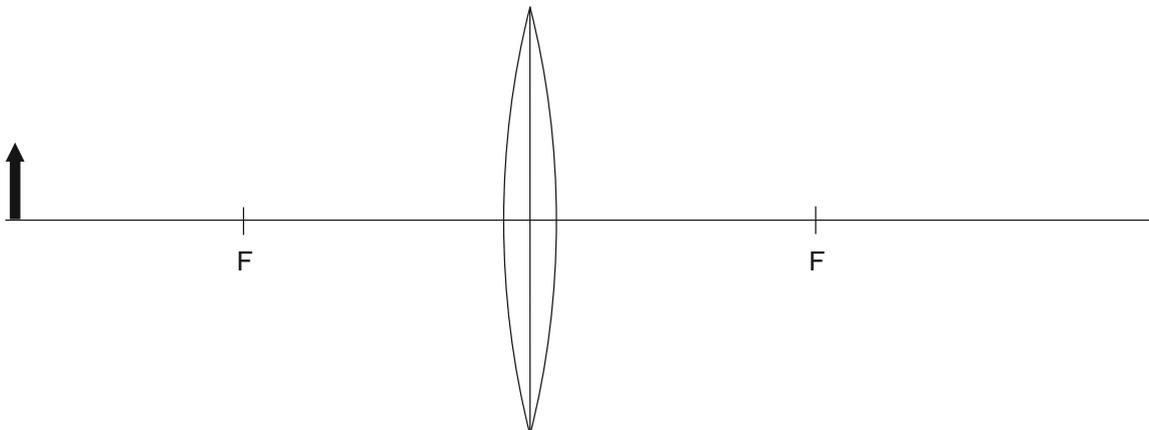
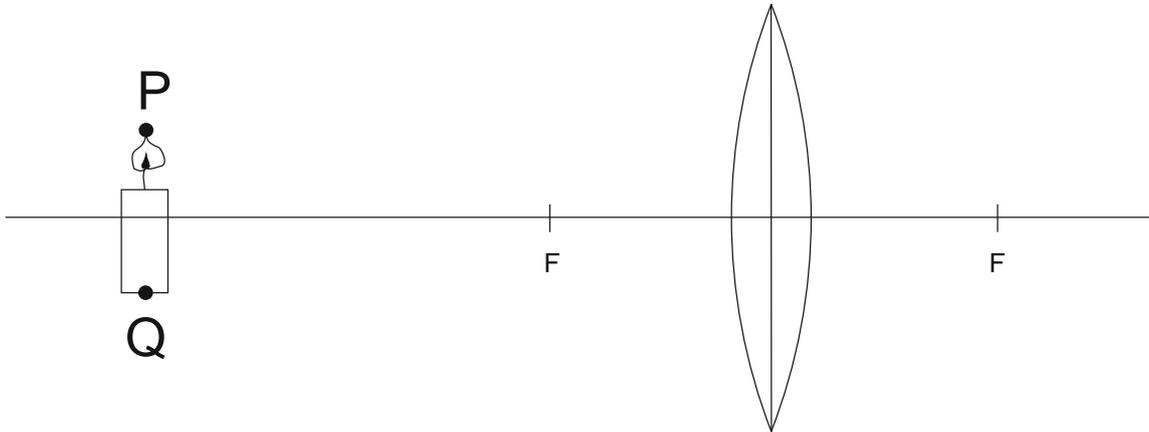


Abb. 2: Konstruiere die Bilder der Gegenstände.

b) Konstruiere die Bilder der Pfeile. Kannst du dir bei der Konstruktion vielleicht Arbeit sparen?

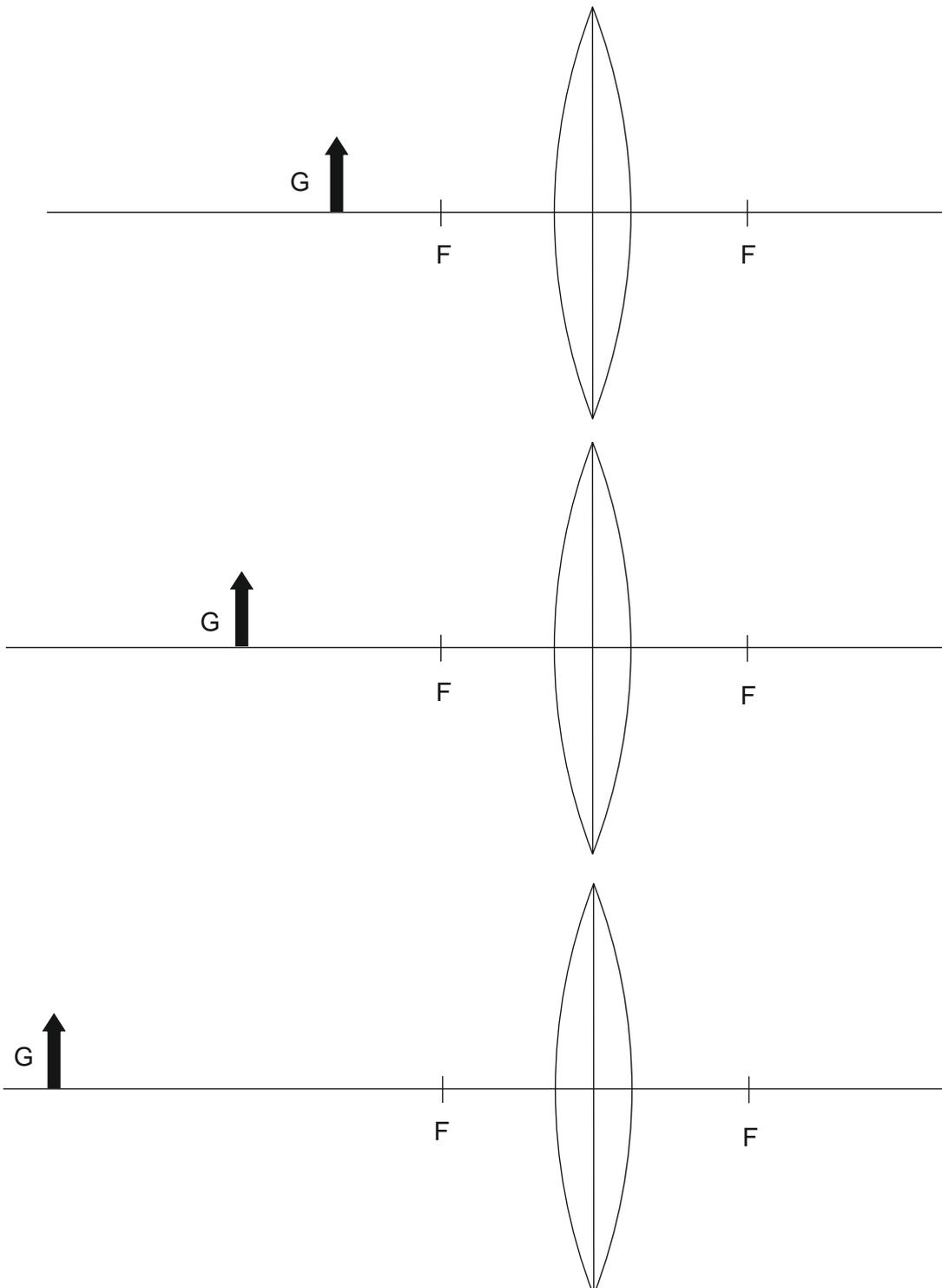


Abb. 1: Die Pfeile werden durch die Linse abgebildet.

- c) Fotoapparate enthalten kleine Sammellinsen. Wie passt das Bild des Baumes in den Fotoapparat (siehe Abb. 1)?

Erinnere dich: Der Parallelstrahl ist nur ein Stellvertreter für viele andere Lichtstrahlen. Auch wenn er abgedeckt wird oder gar nicht durch die Linse geht, kannst du ihn zur Konstruktion verwenden. Es geht schließlich weiterhin ein Lichtkegel von jedem Leuchtfleck durch die Linse. Damit du den Parallelstrahl verwenden kannst, musst du die Ebene durch die Linsenmitte einfach gerade nach oben und unten verlängern.



Abb. 1: Der Baum wird mit dem Fotoapparat fotografiert

- d) Zwei Kerzen (Abb. 2) sollen gleichzeitig abgebildet werden. Kannst du den Schirm so aufstellen, dass von beiden Kerzen scharfe Bilder aufgefangen werden? Begründe deine Entscheidung.
- e) Überprüfe nun deine Hypothese durch die Konstruktion.

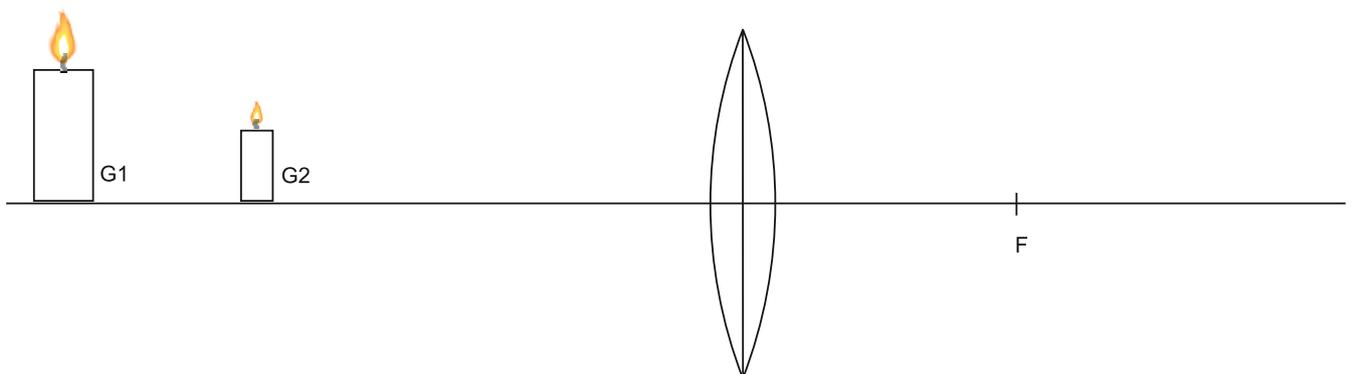


Abb. 2: Beide Kerzen werden gleichzeitig durch die Linse abgebildet.

Bei Fotoapparaten möchte man oft Gegenstände in unterschiedlicher Entfernung scharf auf dem Sensor abbilden. Näherungsweise ist das möglich. Diese Fähigkeit einer Kamera nennt man **Schärfentiefe**.

- f) Wo unterscheidet sich der Abbildungsvorgang mit der Lochkamera und mit dem einer Linse? Welche Gemeinsamkeit gibt es?

# Anhang

QR-Code für die Applets:

Lichtbrechung



Lochkamera



Sonnen- und Mondfinsternis



Farbmischer



Lichtbrechung



# Lösungen:

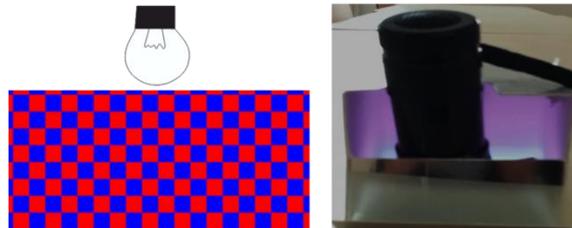
---

## S. 23, Abb. 1

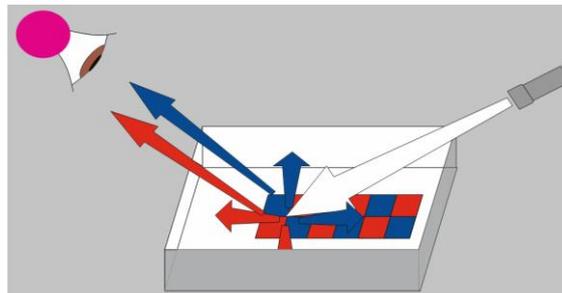


In der Schachtel befinden sich ein roter und ein grüner Selbstsender. Am Kreuzungspunkt entsteht die Lichtfarbe gelb.

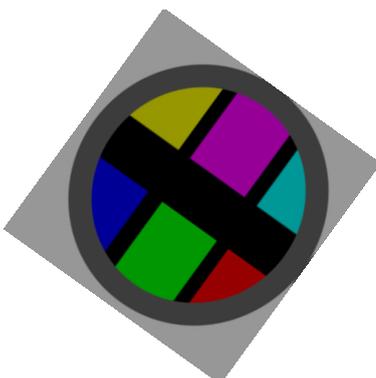
## S. 40, Arbeitsauftrag 2:



Rote und blaue Farbfelder sind am Blatt. Die Tabelle auf S. 38 (Abb. 9) hilft dir die Aufgabe zu verstehen. Die roten Felder sind Zwischensender für die rote Lichtfarbe. Die blauen Felder sind Zwischensender für die blaue Lichtfarbe. In unserem Auge entsteht, wenn die rote und blaue Lichtsorte gleichzeitig eintrifft, der Farbeindruck Magenta.



## S. 40, Arbeitsauftrag 5:



So sind die Farbfelder angeordnet.

## S. 71, Experimente für zu Hause

### Versuch a):

In diesem Versuch (siehe Abb. 1) kannst du beobachten, dass du einen größeren Teil der Münze siehst, wenn Wasser im Topf ist. Die Münze erscheint „gehoben“. Die Münze bleibt jedoch immer am gleichen Ort, weil ihr Material dichter als Wasser ist. Auch wenn Wasser im Topf ist, strömt das Licht von der Münze in dein Auge. Das Licht der Münze nimmt aber nicht den direkten Weg in dein Auge.

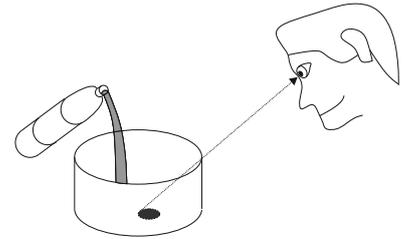


Abb. 1: Versuch a - Die gehobene Münze.

So kannst du verstehen, warum die Münze angehoben erscheint (siehe Abb. 2):

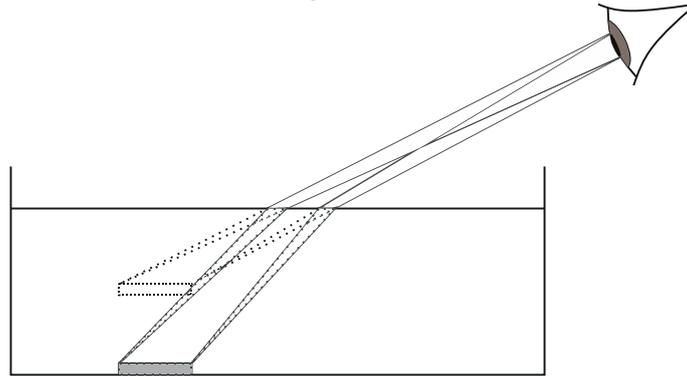


Abb. 2: Die Münze wird an einer höheren Stelle wahrgenommen, als sie tatsächlich ist. Sie erscheint angehoben.

Das Licht, das von der Münze kommt, wird an der Wasseroberfläche umgelenkt. Wir sagen dazu es wird gebrochen. Das **Auge** nimmt die Münze in der **Richtung wahr, aus der das Licht in die Pupille einfällt**.

Erinnere dich, das ist hier ähnlich wie beim Spiegelbild. Du siehst ein **virtuelles Bild** der Münze. Dein Auge kann „die Vergangenheit“ des Lichtstrahls, in der er gebrochen wurde, nicht nachverfolgen. Es hat nur die Information, dass sich Licht geradlinig ausbreitet. Daher nimmt es das Bild der Münze in der Richtung wahr, aus der Licht in das Auge strömt. Die Münze erscheint angehoben.

### Versuch b):

Hier stellst du fest, dass du durch den Strohhalm die Münze sehen kannst (siehe Abb. 3). Ein Spieß durch den Strohhalm kann die Münze aber nicht treffen. Die Münze liegt also nicht direkt vor dem Strohhalm.

Warum kannst du die Münze trotzdem durch den Strohhalm sehen? **VON NIX KOMMT NIX.**

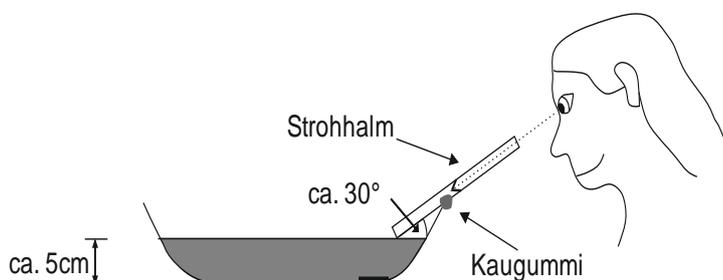


Abb. 3: Versuch b - Die aufgespießte Münze"

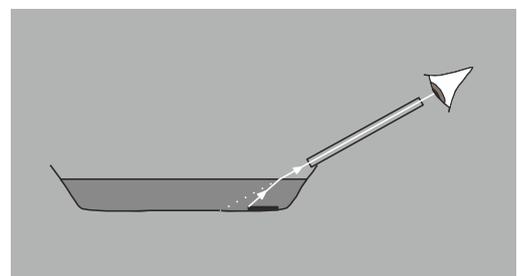


Abb. 4: An der Wasseroberfläche wird das Licht gebrochen.

Durch den Strohhalm kommt das Licht geradlinig von der Wasseroberfläche (siehe Abb. 4). Im Wasser selbst breitet sich das Licht ebenfalls geradlinig aus. Es muss also einen Knick im Lichtweg geben. Nur so kann das Licht von der Münze ins Auge gelangen. Das Licht wurde an der Wasseroberfläche gebrochen.

# Abbildungen

---

In diesem Verzeichnis sind Abbildungen aufgelistet, die nicht von den Autor/innen stammen.

---

- <sup>i</sup> Abbildung entnommen aus: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Octopus\\_macropus\\_-\\_The\\_Coral\\_Kingdom\\_Collection.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Octopus_macropus_-_The_Coral_Kingdom_Collection.jpg); US National Oceanic and Atmospheric Administration, <http://www.photolib.noaa.gov/htmls/reef2063.htm> (Abgerufen am 15.3.2016)
- <sup>ii</sup> Abbildung 2a und 2b wurden adaptiert aus: Wiesner, H., Engelhardt, P. and Herdt D. (1995), Unterricht Physik, Optik I: Lichtquellen, Reflexion, Unterricht Physik, Vol. 1, Aulis Verlag Deubner & Co, Köln, Vorlage M 6.4.1.
- <sup>iii</sup> Diese Bauanleitung wurde veröffentlicht in: Hopf, M., Haagen-Schützenhöfer, C. & Heran-Dorr, E. (2011). Low Cost in der Optik. Praxis der Naturwissenschaften - Physik, 60(5), 24-29.
- <sup>iv</sup> Diese Aufgabe wurde in erweiterter Form veröffentlicht in: Haagen-Schützenhöfer, C. (2012). Die richtige Sonnenbrille ist kein Luxus - Kontextorientierte Aufgabe (27). Praxis der Naturwissenschaften - Physik, 61(6), 32–33.
- <sup>v</sup> Abbildung entnommen aus: [https://www.flickr.com/photos/loop\\_oh/3404859116](https://www.flickr.com/photos/loop_oh/3404859116) von Rupert Ganzer (Abgerufen am 15.3.2016)
- <sup>vi</sup> Diese Aufgabe wurde in erweiterter Form veröffentlicht in: Haagen-Schützenhöfer, C. (2012). Die richtige Sonnenbrille ist kein Luxus - Kontextorientierte Aufgabe (27). Praxis der Naturwissenschaften - Physik, 61(6), 32–33.
- <sup>vii</sup> Abbildung entnommen aus: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a6/Moon\\_phases\\_00.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a6/Moon_phases_00.jpg) von Orion 8 (Abgerufen am 15.3.2016)
- <sup>viii</sup> Abbildung entnommen aus: [http://phet.colorado.edu/sims/html/color-vision/latest/color-vision\\_en.html](http://phet.colorado.edu/sims/html/color-vision/latest/color-vision_en.html) (Abgerufen am 17.3.2016)
- <sup>ix</sup> Abbildung von NASA - NASA Apollo Archive <http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/alsj/a11/AS11-40-5952.jpg>, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=719521> (Abgerufen am 17.3.2016)
- <sup>x</sup> Abbildung entnommen aus: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laserscapenov.jpg> von Dellserer (Abgerufen am 17.3.2016)
- <sup>xi</sup> Abbildung entnommen und adaptiert aus: [http://img.svz.de/img/incoming/crop9287946/6196395061-cv16\\_9-w596/blaulicht-666.jpg](http://img.svz.de/img/incoming/crop9287946/6196395061-cv16_9-w596/blaulicht-666.jpg) (Abgerufen am 17.3.2016)
- <sup>xii</sup> Abbildung entnommen aus: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3APrism-side-fs\\_PNr%C2%B00117.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3APrism-side-fs_PNr%C2%B00117.jpg) By D-Kuru (Own work) (Abgerufen am 17.3.2016)
- <sup>xiii</sup> Abbildung entnommen als Screen-Shot aus: <http://vimeo.com/9082373> (Abgerufen am 17.3.2016)
- <sup>xiv</sup> Abbildung entnommen aus: [https://de.wikipedia.org/wiki/Mondfinsternis#/media/File:Mondfinsternis\\_2008-08-16.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Mondfinsternis#/media/File:Mondfinsternis_2008-08-16.jpg) (Abgerufen am 17.3.2016)
- <sup>xv</sup> Abbildung entnommen aus: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Crescent\\_Moon.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Crescent_Moon.JPG) (Abgerufen am 17.3.2016)
- <sup>xvi</sup> Abbildung entnommen aus: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Led\\_lamp.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Led_lamp.jpg) (Abgerufen am 17.3.2016)
- <sup>xvii</sup> Abbildung entnommen als Screenshot aus: <http://www.leifiphysik.de/optik/lichtausbreitung/versuche#lightbox=/themenbereiche/lichtausbreitung/lb/lochkamera-bildentstehung> (Abgerufen am 17.3.2016)
- <sup>xviii</sup> Abbildung entnommen als Screenshot aus: <http://www.leifiphysik.de/optik/lichtbrechung/ausblick/brechungsursache> (Abgerufen am 17.3.2016)

---

<sup>xix</sup> Abbildung entnommen aus: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Glasfaserlampe.jpg> (Abgerufen am 17.3.2016)

<sup>xx</sup> Entnommen aus: [https://de.wikipedia.org/wiki/Endoskop#/media/File:Flexibles\\_Endoskop.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Endoskop#/media/File:Flexibles_Endoskop.jpg) (Abgerufen am 17.3.2016)