

Bedienungsanleitung des Spektralkoffers

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Inhalt des Koffers | 2 |
| 3 | Optische Experimente mit Linsen, Prismen und Gittern | 3 |
| 3.1 | Experimente mit Linsen | 4 |
| 4 | Referenzen | 8 |

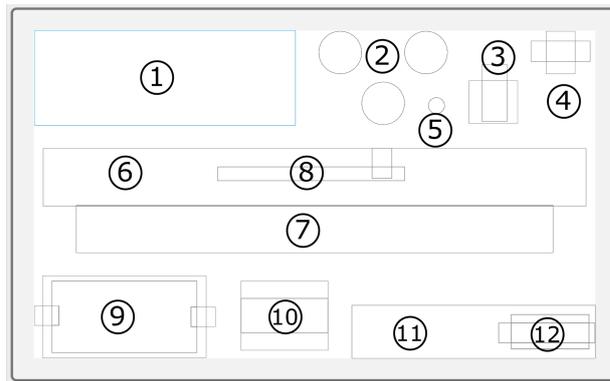
1 Einleitung

Die im Folgenden beschriebenen Experimente sind für die Durchführung in dem Themenbereich Optik an der Freien Universität Berlin erstellt worden. Die zum Teil schon tief in die Materie einsteigenden Versuche sind einfach gehalten und können Schülern der Sekundarstufe I und II demonstriert werden. Viele davon können sogar von den Schülern selbst durchgeführt werden. Darüber hinaus ist eine kurze Zusammenfassung der künstlichen Lichtquellen in der Menschheitsgeschichte gegeben.

Eine große Zahl der Experimente wurde bereits in Fachvorträgen beispielsweise auf Lehrerkonferenzen, vor Schulklassen und auf Veranstaltungen innerhalb der Universität wie dem Girls'day oder der Sommeruni gezeigt. Die einfachen Mittel, mit denen deutliche Effekte gezeigt werden können, sind nicht nur für Lehrkräfte, sondern auch für Schüler beeindruckend. Aus diesem Grunde eignen sie sich vor allem als Motivationsexperimente. Unser Ziel ist es, mit diesem Koffer einen experimentellen Zugang zur Optik zu ermöglichen. Viele Erkenntnisse in der Physik werden schlussendlich durch Experimente gewonnen, sei es für die Überprüfung der Theorie oder zur Hypothesenbildung. Einige der Experimente erlauben einen spielerischen Umgang, damit hoffen wir die Neugier von Schülern zu wecken und sie ein wenig mehr für die Physik zu begeistern.

In diesem Sinne wünschen wir Ihnen viel Freude beim Experimentieren!

2 Inhalt des Koffers



- | | | | |
|---|-------------------------|----|--------------------------|
| 1 | Netzgerät | 8 | Roter Laserpointer |
| 2 | Drei Taschenlampen | 9 | LED Modul + Kunstzitrone |
| 3 | Prisma | 10 | Batterieladegeräte |
| 4 | 20 Gitter | 11 | Sprühflasche |
| 5 | Grüner Laserpointer | 12 | Küvette |
| 6 | UV Röhre mit Halterung | | |
| 7 | Kabel und kleine Geräte | | |

Abbildung 1: Übersicht des Optikkoffers

Abgesehen von den optischen Reitern, Schienen und Linsen, welche für die Linsen- und Gitterexperimente gebraucht werden, sind alle Geräte für die hier beschriebenen Versuche enthalten. Eine grobe Übersicht ist in Abbildung 1 gegeben.

Ein Netzgerät, welches für die Versuche mit LEDs bzw. für den Glühdraht benötigt wird, ist beigelegt (1). Die Drei Taschenlampen (2) sollten vor der Benutzung überprüft werden und gegebenenfalls geladen werden. Alle Lampen besitzen weißes, rotes, grünes und blaues Licht, welches von LEDs erzeugt wird. Das Prisma (3) und die Küvette (12) sind leicht zerbrechlich, diese sollten mit äußerster Vorsicht behandelt werden. Des Weiteren sollte darauf geachtet werden, dass an den Seitenflächen nach Möglichkeit keine Fingerabdrücke hinterlassen werden. Die 20 Gitter (4) sind zur Spektralanalyse vorgesehen, diese sollten ausschließlich an den Seitenflächen angefasst werden. Die beiden Laserpointer (5), (8) sollten ebenfalls vor dem Gebrauch getestet werden.

Die UV-Leuchtstoffröhre ist zusammen mit einer Halterung beigelegt (6). War die Röhre vorher in Betrieb, sollte der Netzstecker gezogen und gewartet werden, bis die Röhre abgekühlt ist. Ein Fach für Kleinteile (wie bspw. das Rhodamin) und Kabel (7) befindet sich neben der Leuchtstoffröhre (6). Die Kunstzitrone (9) ist für die Experimente zur Farbwiedergabe vorgesehen und sollte leicht zu entnehmen sein, darüber befindet sich ein LED Modul mit einer infraroten, roten, grünen und blauen LED. Ein Fach für Batterieladegeräte (10) befindet sich neben dem Modul, dieses ist für die Akkus der Taschenlampen vorgesehen. Die Sprühflasche (11) sollte ausschließlich mit Wasser befüllt werden.

3 Optische Experimente mit Linsen, Prismen und Gittern

In diesem Kapitel werden einfache Experimente zur Lichtbrechung und Beugung vorgestellt. Die Form des Glases spielt dabei eine wichtige Rolle für den Strahlungsverlauf des gebrochenen Lichts. Dies kann mit verschiedenen Linsen gezeigt werden oder direkt mit einem Prisma. Bereits in der Antike waren Brennläser bekannt und verwendet. Die vergrößernde Wirkung von mit Wasser gefüllten, durchsichtigen Gegenständen war bereits den alten Römern bekannt [1].

Um die einzelnen Bestandteile des Lichts untersuchen zu können, bediente man sich früher eines Prismas. Isaac Newton entdeckte in seinem berühmten Experiment, bei dem er in einem komplett abgedunkelten Raum ein Loch in den Fensterladen schlug und das einfallende Licht mit einem Prisma brach, dass das Licht der Sonne aus einzelnen Farben zusammengesetzt ist¹. Das Experiment ist in Abb. 2 verbildlicht.



Abbildung 2: Newtons berühmtes Farbtrennungsexperiment. Als Lochblende fungiert der Fensterladen, in dem er ein Loch schlug. Anschließend trennte er die Farben mit einem Prisma und ließ diese auf einen weißen Schirm fallen [3].

Da sich die unterschiedliche Ablenkung von verschiedenfarbigem Licht durch Dispersion in Glas nur leicht unterscheidet, benötigt man für diesen Versuch einen gebündelten Lichtstrahl. Bei Gittern hingegen wird das Licht je nach Anzahl der Spalte verschieden stark abgelenkt. Die Ablenkung wird in diesem Falle durch Beugung erzeugt, da prinzipiell die Spaltbreiten im Bereich der Wellenlänge des Lichts gewählt sind. Die Ablenkung des Lichts durch Beugung ist wie bei der Dispersion abhängig von der Wellenlänge, allerdings kann der Beugungswinkel beliebig groß gewählt werden, sodass Licht ohne optischen Aufbau einfach und unkompliziert analysiert werden kann.

¹Das Experiment und weitere darauf aufbauende Experimente sind ausführlich in seinem Werk „Opticks“ [2] dokumentiert.

3.1 Experimente mit Linsen

Sammel- und Streulinsen sind elementare Bauteile eines optischen Aufbaus und finden vielseitig im Alltag bspw. bei der Photographie oder Projektionen Verwendung. Die einfachsten Versuche sind Fokussierung eines Lichtstrahls oder Experimente zur Abbildung eines Gegenstands auf einen Schirm.

Aufbau

Fokussierung eines Lichtstrahls

Eine beliebige Lichtquelle wird auf einer optischen Bank oder in einer Halterung befestigt. Falls es eine gerichtete Lichtquelle ist, sollte der abgegebene Lichtkegel möglichst parallel zu dem Tisch verlaufen. Eine Linse wird möglichst nah an die Lichtquelle auf der optischen Bank oder in einer Halterung befestigt.

Abbildungsoptik

Ein Gegenstand, welcher abgebildet werden soll (besonders gut funktioniert das Feuer einer Kerze), wird vor einer Linse positioniert. Ein Schirm wird hinter der Linse aufgestellt.

Durchführung und Ergebnis

Fokussierung eines Lichtstrahls

Ein Blatt Papier oder ein kleiner Schirm wird entlang der optischen Achse bewegt, sodass der Lichtkegel gut sichtbar ist. Bewegt man sich auf den Fokus zu, wird der abgebildete Lichtkegel kleiner, im Fokus nahezu punktförmig. Entfernt man sich von dem Fokus, so vergrößert sich der Lichtkegel.

Abbildungsoptik

Die Position vom Gegenstand und Schirm können variiert werden. Je nach Verhältnis der Abstände von Gegenstand-Linse bzw. Linse-Schirm erscheint die Abbildung größer oder kleiner als das Original und sofern der Abstand des Gegenstands größer als die Brennweite der Linse ist, auf den Kopf gestellt.

Physikalischer Hintergrund

Die Abbildung, die letzten Endes im Auge bzw. in unserer Wahrnehmung entsteht, wird von dem reflektierten oder ausgesendeten Licht erzeugt. Unser Auge ist in dem Sinne ähnlich einem Photoapparat: Auf die Netzhaut fallen Photonen ein, welche von den Sinneszellen als Rezeptoren registriert und nach Intensität und Wellenlänge i.e. Farbe ausgewertet werden. Um also zu verstehen, wie Linsen funktionieren, müssen die Strahlengänge des Lichts betrachtet werden. Die gängigsten Linsen sind bikonkave (Streulinsen) bzw. bikonvexe Linsen (Sammellinsen), je nachdem ob Licht gesammelt oder gestreut werden soll. Die Linsen sind in den Abbildungen 3 und 5 dargestellt.

Bei einer Sammellinse werden, wie der Name vermuten lassen würde, die Strahlen auf einem Punkt fokussiert. Fällt paralleles Licht ein, dann wird es genau in dem Fokus gesammelt. Befindet sich das Objekt jedoch in dem Fokus oder näher an der Linse, werden die Lichtpfade nach innen gebrochen, aber nicht mehr gesammelt. Der spezielle Fall, dass sich das Objekt genau in dem Fokus der Linse befindet, ist in der Abbildung 4 dargestellt.

Die hier dargestellten Lichtpfade können auch rückwärts gelesen werden. Fällt parallel verlaufendes Licht auf eine Sammellinse, dann wird es exakt im Fokus gebündelt.

Eine Zerstreulinse wird in der Regel benutzt um den Strahlenverlauf aufzuweiten. Bereits divergentes Licht wird stärker aufgeweitet (siehe Abbildung 5).

Der Fokus einer Streulinse wird in negativen Längeneinheiten angegeben, während

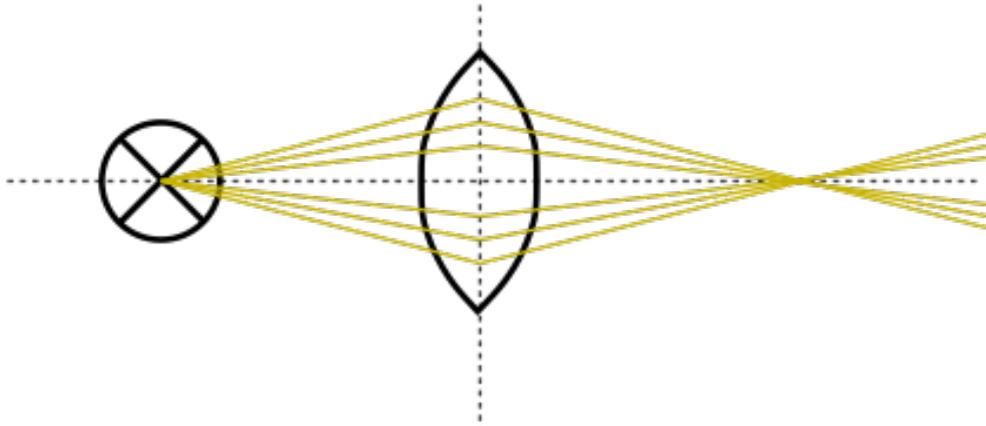


Abbildung 3: Beispielhafter Strahlenverlauf einer Sammellinse.

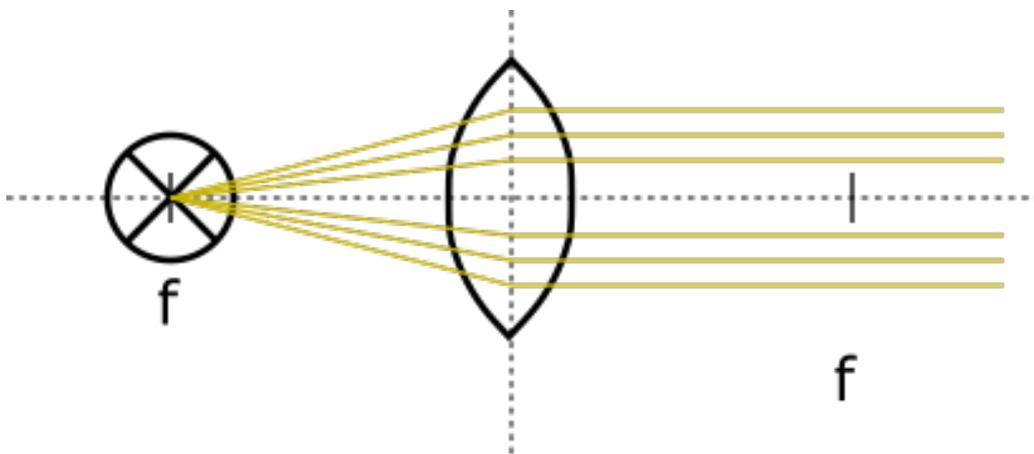


Abbildung 4: Befindet sich das Objekt im Fokus, dann verläuft der Strahlengang hinter der Linse parallel; Das Objekt wird fortlaufend in der gleichen Größe abgebildet.

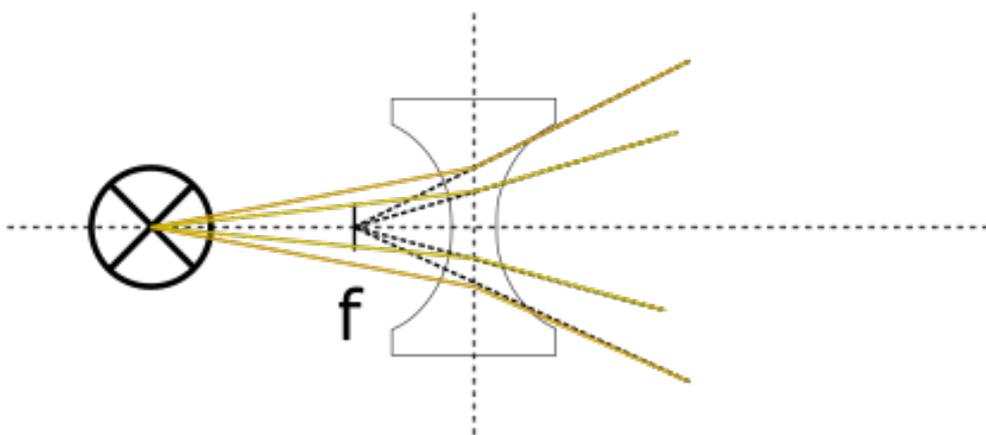


Abbildung 5: Beispielhafter Strahlenverlauf einer Streulinse. Die Strahlen würden sich im Fokus vor der Linse treffen, wenn man die gebrochenen Strahlen durch die Linse verlängerte.

Sammellinsen positive Längeneinheiten besitzen. Der Fokus von Streulinsen lässt sich wie folgt verstehen: Wird paralleles Licht mit einer Sammellinse mit Fokus x gebündelt, kann

das Licht wieder parallelisiert werden, indem man direkt dahinter eine Streulinse mit Fokus -x stellt. Dadurch erzeugt man eine Verkleinerung der Abbildung. Dreht man die Reihenfolge der Linsen um, kann man eine Aufweitung der Abbildung erzeugen.

Unter der Bedingung, dass der Gegenstand sich um eine Distanz von mindestens der Brennweite von jener entfernt befindet, wird ein quasi punktgespiegeltes Abbild des Gegenstandes erzeugt und vergrößert bzw. verkleinert. Die optische Abbildung ist in Abb. 6 dargestellt.

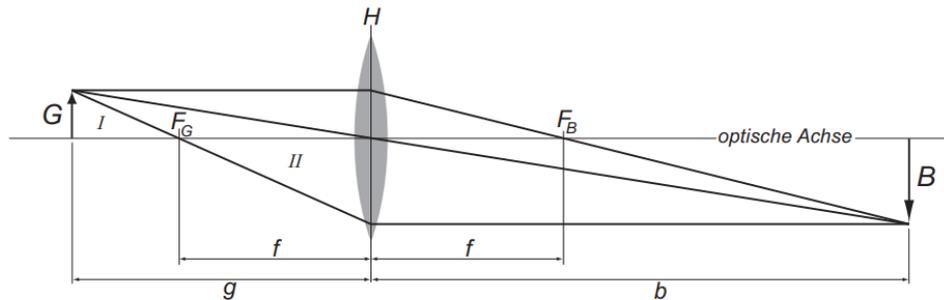


Abbildung 6: Optische Abbildung mit einer Sammellinse [4]. In der Abbildungsoptik zeichnet man in der Regel 3 Strahlen ein: Einen parallel verlaufenden Strahl, welcher dann durch den Fokus hinter der Linse verläuft, einen Strahl durch das Zentrum der Linse, welcher nicht gebrochen wird und einen Strahl, welcher durch den Fokus vor der Linse geht, dieser verläuft dann parallel. Dabei ist es für die Konstruktion nicht wichtig, ob diese Strahlen praktisch die Linse treffen. Es handelt sich lediglich um eine Konstruktionshilfe.

Der Maßstab der Vergrößerung kann nun leicht berechnet werden. Dieser ergibt sich aus:

$$M = \frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad (1)$$

Dabei ist B die Bildgröße, G die Größe des abzubildenden Gegenstandes, b der Abstand des Bildes zur Linse und g der Abstand des Gegenstandes zur Linse. Mithilfe des Strahlensatzes kann nun die Abbildungsgleichung hergeleitet werden. Mit dieser kann der Abstand des Bildes berechnet werden, sofern Abstand des Gegenstandes von der Linse und Brennweite bekannt sind:

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (2)$$

Befindet sich der Gegenstand innerhalb des Fokus der Linse, kann diese Gleichung ebenfalls angewandt werden. löst man dieses Problem über Strahlenkonstruktion, stellt man jedoch fest, dass sich Parallelstrahl und Mittelstrahl nicht hinter der Linse schneiden. Verlängert man diese jedoch vor der Linse, dann schneiden sie sich stattdessen vor dem Gegenstand. Gleichung 2 gibt dann ein negatives Ergebnis, welches daher als virtuelles Bild bezeichnet wird. In diesem Falle steht das Bild aufrecht und die Linse wirkt als eine Lupe.

Bemerkung

Eine häufige Schülervorstellung ist es, dass ein Lichtstrahl zu einem konkreten Teil des Objektes gehört, das bedeutet, wenn man beispielsweise den unteren Teil der Linse (zum Gegenstand hin) mit einer Blende oder ähnliches abdunkeln würde, der Gegenstand in der Abbildung ebenfalls ausgeschnitten wäre. Tatsächlich findet nur eine Abschwächung der Helligkeit des Bildes statt. Dies lässt sich einfach und unkompliziert zeigen und beugt diesem Denkfehler vor [5].

Einfache Linsen sind nicht perfekt gebaut. Handelt es sich um Linsen aus normalen Glas, welche Kugelschnitte sind, dann kommt es zum einen zur sphärischen Aberration. Dies bedeutet, dass aufgrund der Krümmung der Linse das Licht am Rand der Linse stärker gebrochen wird als innen, dass die Linsen faktisch also an den Rändern eine andere Brennweite haben. Den anderen Effekt bezeichnet man als chromatische Aberration. Wie bei einem Prisma werden die einzelnen Wellenlängen des Lichts unterschiedlich stark gebrochen. Violette Licht wird demnach stärker gebrochen als rotes Licht. Dadurch ergeben sich farbspezifische Foki.

4 Referenzen

- [1] LINSE (OPTIK)
[https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Linse_\(Optik\)](https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Linse_(Optik)) Physik für alle (früher als Physik-Schule) bekannt, wird betrieben von dem Journalisten und Wissenschaftsautoren Hans-Peter Willig.
- [2] OPTICKS: OR, A TREATISE OF THE REFLECTIONS, REFRACTIONS, INFLEXIONS AND COLOURS OF LIGHT
Isaac Newton, Printed for Sam. Smith, and Benj. Walford, London, 1704 S. 18 ff
- [3] NEWTONS EXPERIMENT MIT DER LICHTBRECHUNG / GRAFIK <https://www.akg-images.de/archive/-2UMDHU1EEAAS.html> (letzter Zugriff 13.09.2022) Das Bild stammt aus der Science Photo Library, die dort gelisteten Bilder liegen in der public domain.
- [4] 2 OPTISCHE ABBILDUNG
Auszug aus dem Maschinenwesen Praktikum (2020)
- [5] BILDENTSTEHUNG BEI LINSENABBILDUNGEN
<https://www.leifiphysik.de/optik/optische-linsen/grundwissen/bildentstehung-bei-linsenabbildungen> (letzter Zugriff 13.02.2020) das Internetportal LEIFIPhysik wird gefördert durch die Joachim Herz Stiftung