

Simulation optischer Instrumente

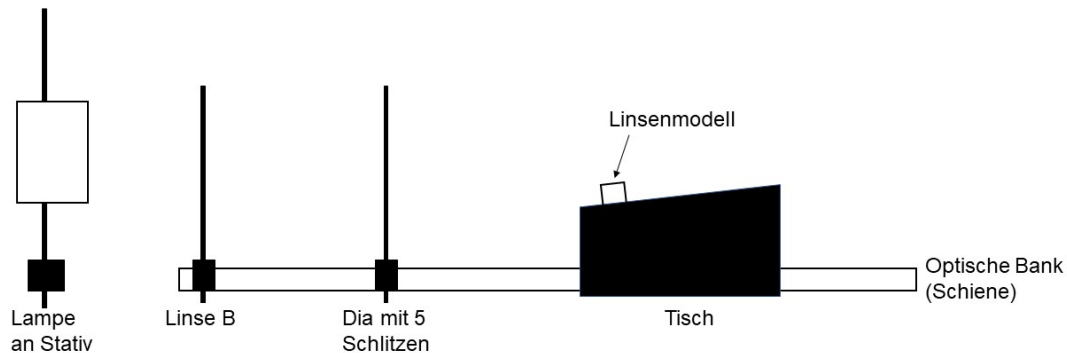
Optische Instrumente bestehen aus Linsen oder Spiegeln. In diesem Versuch sollen die “Funktionsweise” einer Linse sowie die von Wölbspiegeln modellhaft nachvollzogen werden. Außerdem sollen Linsenanordnungen wie im Mikroskop und im Fernrohr “offen” nachgebaut werden.

Aufgabe 1: Brennweite einer Linse

Als Lichtquelle dienen die Experimentierlampen (max.12 V, auf ca. 10 V aufdrehen reicht). Zur Stromversorgung werden die Kleinspannungsstelltrafos benutzt. Volteinstellung bitte wegen Genauigkeit parallel mit dem Multimeter überprüfen. Die Lampe ist mit Stativmaterial in eine Höhe zu bringen, die den Linsen auf der optischen Bank (Schiene) entspricht.

Zunächst brauchen wir paralleles Licht. Setzt die Linse B an den Anfang der Schiene, so dass sie etwa 10 cm Abstand zur Glühwendel der Lampe hat. Hinter der Linse mit einem Blatt Papier kontrollieren, ob ein halbwegs gleichmäßiger Lichtfleck da ist, der auch seine Größe mit der Entfernung möglichst wenig ändert.

Hinter die Linse B, der Abstand spielt keine Rolle, wird nun in einer Halterung das Dia mit den fünf Schlitzen gesetzt. Dahinter wird der leicht schräge Tisch über die optische Bank gestellt. Abstände lassen sich jetzt gut noch verbessern: Auf dem Tisch sollten fünf parallele Strahlen zu sehen sein.



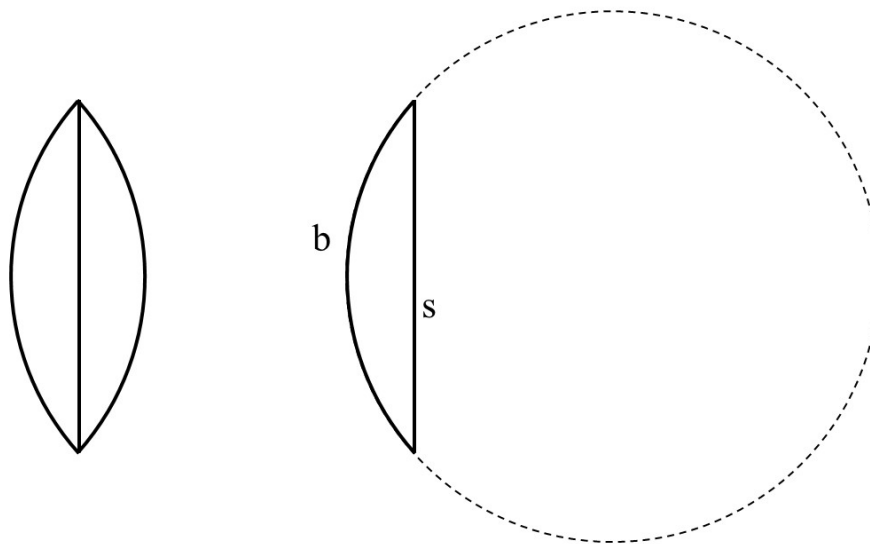
Legt nun das flache Linsenmodell auf den Tisch. Vor der Linse parallele Strahlen sollten dahinter im Brennpunkt zusammenlaufen. Misst den Abstand f des Brennpunkts von der Linsenmitte.

f gemessen:

Die Linse kann man sich aus zwei Kreissegmenten zusammengesetzt denken. Die Brennweite wird durch den Radius dieser Kreise bestimmt. An unserer Linse messen können wir die Bogenlänge b und die Sehnenlänge s des Segments.

b gemessen: s gemessen:

Ergänzt in der rechten Zeichnung den Mittelpunktswinkel 2φ und Radien r .



Es gilt $b = 2 \cdot \varphi \cdot r$ und $s = 2 \cdot r \cdot \sin \varphi$ mit φ im Bogenmaß.

Da der Winkel einmal direkt und einmal im Sinus vorkommt, sind die Gleichungen nicht durch Umformen lösbar. Nehmt hierfür den *solve*-Befehl auf einem TI-Taschenrechner. Um zwei Gleichungen mit den Unbekannten a und b zu lösen ist einzugeben:
 $solve(...=... \text{ and } ...= ..., \{a,b\})$

r berechnet: φ berechnet:
--

Die Brennweite einer dünnen Linse aus zwei Kreissegmenten mit Radius r ist $f = \frac{r}{2(n-1)}$

wobei n der Brechungsindex des Glases ist. Rechnet die Brennweite f nach und entscheidet, ob unser Glas eher $n = 1.4$ oder $n = 1.5$ hat.

Antwort: _____

Aufgabe 2: Vorbereitung zum Mikroskop

Ein Mikroskop besteht aus zwei Linsen, dem Objektiv (mit kleiner Brennweite) und dem Okular (mit größerer Brennweite). Beide dienen der Vergrößerung. Eigentlich spielt das Auge quasi als dritte Linse auch eine Rolle. Die Position des Okulars ist bei Mikroskopen fein einstellbar und so kann es dann für jeden Betrachter insgesamt stimmen und ein scharfes Bild ergeben. Hier sollen zwei Strahlen durch die Anordnung mit zwei Linsen gezeichnet werden, um anzudeuten, wie das Bild (in unserem Versuch dann auf dem Schirm) entsteht.

Nehmt ein kariertes DIN A4-Blatt quer und an einer Seite ist von einem weiteren Blatt noch ein Stück von ca. 5 cm anzukleben. Zeichnet in der Mitte des Blattes eine waagerechte Linie als optische Achse. Die Linsen können skizziert werden, es kommt nur darauf an, wo jeweils ihre Mitte ist (dort einfach senkrechte Linien ziehen). Damit es halbwegs gut zeichnenbar ist, haben in dieser Aufgabe die Linsen andere Brennweiten als nachher im Versuch.

Setzt ganz an den linken Rand einen 1 cm hohen Pfeil auf die optische Achse als Gegenstand. Die erste Linse ist 3 cm vom Gegenstand entfernt. Sie hat die Brennweite $f_1 = 2$ cm, also befindet sich ihr Fokus 2 cm hinter ihr. Die zweite Linse ist 12 cm von der ersten entfernt. Sie hat die Brennweite $f_2 = 5$ cm.

Zeichnet von der Spitze des Gegenstands aus durch die erste Linse den Mittelpunktstrahl und den parallel einfallenden Strahl.

Diese beiden Strahlen kreuzen sich zwar hinter der Linse, laufen in diesem leeren Raum aber natürlich einfach so weiter, bis sie auf die zweite Linse treffen. Leider kommen sie weder parallel zur optischen Achse, durch den Brennpunkt noch durch den Mittelpunkt der zweiten Linse dort an. Wir müssen also jetzt für irgendwie schief einfallende Strahlen ausrechnen können, wie sie von einer Linse abgelenkt werden. Im Folgenden wird die größte Näherungsformel für dünne Linsen gegeben.

z ist die Höhe, in der ein Strahl auf die Linse trifft und wird von der Achse aus gemessen. Über der Achse ist z positiv, unter der Achse ist z negativ.

α ist jeweils der Winkel zur Waagerechten, unter dem ein Strahl läuft (von links nach rechts gesehen). Läuft der Strahl schräg nach unten, ist α negativ zu nehmen, geht es schräg nach oben, so ist α positiv. Beim Zeichnen muss man Winkel in Grad haben. Die Formel, wie man vom Einfallswinkel auf den Ausfallswinkel schließt, braucht die Winkel aber im Bogenmaß.

$$\alpha_{aus} = \alpha_{ein} - \frac{z}{f}$$

wobei f die Brennweite der Linse ist.

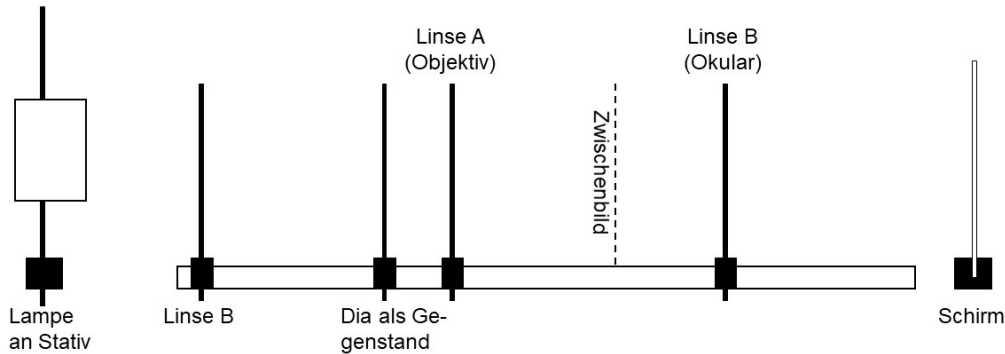
Die Formel gilt streng genommen nur für achsennahe Strahlen und kleine Winkel (ihre Herleitung enthält die Kleinwinkelnäherung). Da es hier aber mehr darum geht, den prinzipiellen Verlauf der Strahlen zu sehen, statt Werte für Bildgröße und Bildweite zu ermitteln, soll die einfache Formel auch für relativ große Winkel noch verwendet werden.

Misst für beide Strahlen jeweils die Einfallshöhe und den Einfallswinkel, rechnet den Ausfallswinkel aus und zeichnet die Strahlen hinter der zweiten Linse weiter, bis sie sich kreuzen. An dieser Stelle ist eben bis zum Kreuzungspunkt der Strahlen wiederum ein Pfeil auf die optische Achse zu stellen, der das Bild repräsentiert. (Vergrößert das Mikroskop?)

Aufgabe 3: das Mikroskop

Hier geht es, wie in der Einleitung gesagt, darum, mit Linsen ein Mikroskop nachzustellen. Die Lampe und die Linse B am Anfang der Schiene könnt ihr lassen. Die Linse B direkt an der Lampe dient hier dazu, einen gleichmäßigen Lichtfleck zu produzieren. Ohne sie würde man erst recht überall nur Abbilder der Glühwendel aus der Lampe sehen.

Als Gegenstand benutzt eine Gruppe das Dia mit der kleinen Skala und eine Gruppe das mit dem Herrn mit altertümlichem Hut; hier empfiehlt es sich, das Dia hochkant und nur halb einzuschieben, so dass man zwar auch den Rand im Sichtfeld hat, aber in der Mitte etwas von der Schrift, was zum Scharfstellen später einfacher ist.



Relativ dicht hinter den Gegenstand, aber mindestens 5 cm entfernt, kommt die Linse A als Objektiv. Fahrt mit einem Bogen Papier hinter der Linse A die Schiene entlang und macht die Position aus, wo ein halbwegs scharfes Zwischenbild entsteht. Von dieser Position aus wird als Okular die zweite Linse B etwa 10 cm weiter aufgestellt (die Linse B hat die Brennweite 10 cm). Stellt jetzt den Schirm so auf, das darauf ein scharfes Bild eben einer kleinen Region von der Mitte des Dias zu sehen ist.

Es ist zwar hier nichts weiter damit zu rechnen, aber messt fürs Protokoll die Abstände

Dia zu Linse A: zwischen Linse A und Linse B: von Linse B zum Schirm:

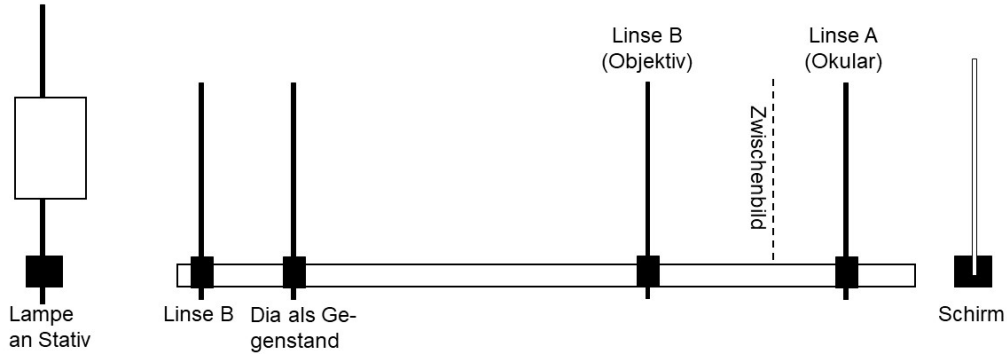
Der Abstand zwischen den beiden Linsen abzüglich der beiden Brennweiten wird als Tubuslänge bezeichnet.

Und ein Foto des vergrößerten Bilds auf dem Schirm wäre auch schön.

Anmerkung: Einen Vorführversuch, der mit Mittelpunkt- und Parallelstrahl den Strahlengang durch zwei Linsen zeigt, soll es möglichst in der nächsten Laborstunde oder einer verbleibenden Unterrichtsstunde noch geben.)

Aufgabe 4: das Fernrohr

Auch ein Fernrohr besteht aus zwei Linsen, dem Objektiv und dem Okular. Jedoch kann der Gegenstand nicht nahe (fast in Brennweite) an das Objektiv herangeschoben werden, sondern die Entfernung des betrachteten Objekts zur Eintrittslinse, dem Objektiv, ist sehr groß. Es gibt genauso ein Zwischenbild hinter der ersten Linse, jedoch ist dieses nicht wie beim Mikroskop bereits vergrößert, sondern sogar kleiner als der Gegenstand. Die zweite Linse sorgt dann aber für Vergrößerung, womit der Gegenstand dann näher erscheint und Details erkennbar werden.



Zum Nachstellen des Fernrohrs können die Lampe am Stativ, die Linse B am Anfang der Schiene und sogar das Dia als Gegenstand bleiben. Aber nun soll die zweite Linse B als Objektiv benutzt werden. Damit der Gegenstand im Vergleich zur Brennweite wirklich weit vom Objektiv entfernt ist, wählt ca. 30 bis 50 cm als Entfernung. Das Zwischenbild ist zwar klein, sollte sich aber mit einem Blatt Papier ausmachen lassen. Merkt euch die Position. Als Okular dient Linse A. Der Abstand vom Zwischenbild zum Okular muss zwischen der einfachen und der doppelten Brennweite dieser Linse liegen, also zwischen 5 und 10 cm. Stellt zum Schluss den Schirm auf; man kann schonmal eine Stelle suchen, wo ein Bild erkennbar wird. Jetzt die Position der Linse A korrigieren, so dass das Bild auf dem Schirm scharf wird. Notiert auch hier fürs Protokoll eure Abstände.

Dia zu Linse B:

zwischen Linse B und Linse A:

von Linse A zum Schirm:

Und wiederum wäre ein Foto des Bilds auf dem Schirm schön.

Aufgabe 5: Spiegelteleskope

Auch Spiegelteleskope haben die Eigenschaft, dass der (Primär-)Spiegel parallel einfallende Strahlen durch den Brennpunkt lenkt. Spiegel können also wie Linsen zur Abbildung und damit Vergrößerung benutzt werden. In der Astronomie kann es aber auch darum gehen, möglichst viel Licht von einem Objekt zu sammeln und dieses dann einem Spektrographen zuzuführen, also nach Wellenlängen zu analysieren. In den folgenden Anordnungen soll daher der Strahlengang vom parallelen Einfall bis zum Fokus nachvollzogen werden. Ein Spiegel reflektiert Licht. Der Detektor für das Licht muss sich also vor dem Spiegel befinden, aber da ist er dem einfallenden Licht teilweise im Weg.

Die folgenden Konstellationen gibt es als Vorführversuche.

Eure Aufgabe ist es, jeweils eine Skizze des Strahlengangs anzufertigen.

a) Empfänger im Primärfokus. Das ist möglich, wenn der Detektor nicht zu sperrig ist.

b) Empfänger im Newton-Fokus.

Hierbei wird das Licht durch einen Umlenkspiegel seitlich herausgeführt.

c) Vielleicht schaffen wir sogar ein Modell mit Cassegrain-Fokus.

Hier gibt es auch einen kleinen Sekundärspiegel, aber er lenkt das Licht nicht seitlich heraus, sondern durch ein Loch in der Mitte des Primärspiegels, wo sowieso direkt kein Licht hinkommt, weil der Sekundärspiegel ja im Weg ist.