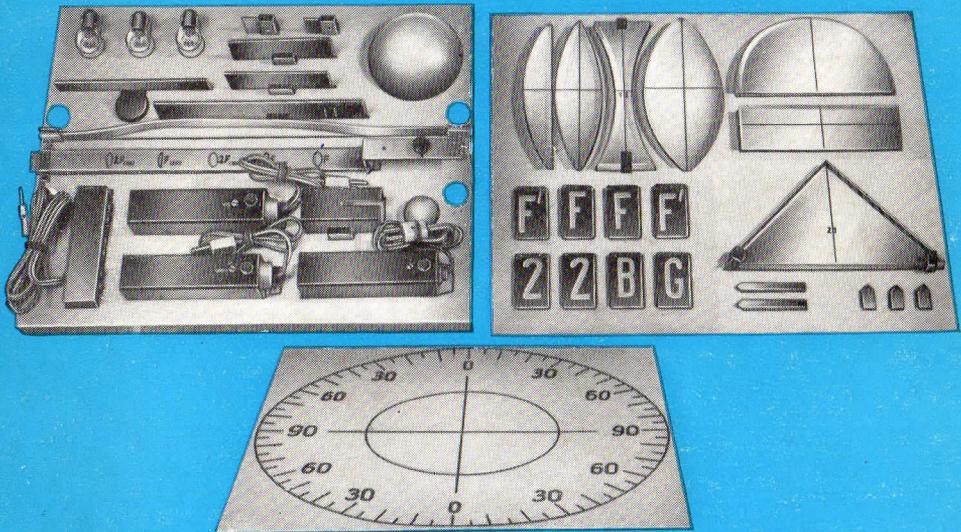


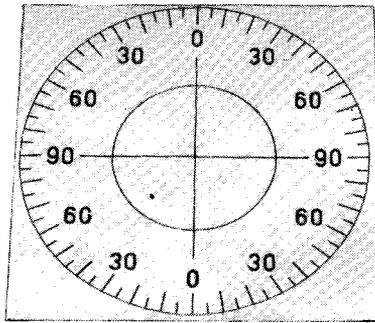
Nr. 40100

Haftoptik



VEB POLYTECHNIK KARL-MARX-STADT





HAFTOPTIK

Experimentiersatz für Versuche zur Strahlenoptik

Nr. 40 100

Versuchsanleitung



VEB POLYTECHNIK KARL-MARX-STADT

Allgemeines

Die experimentelle Behandlung der Strahlenoptik wurde bisher mit den unterschiedlichsten Mitteln durchgeführt. Dominierend waren die optische Bank unterschiedlichster Konstruktion und Geräte Hartlischer Konzeption. Über die Zweckmäßigkeit der verschiedenen Anordnungen gingen die Meinungen auseinander. Die Schule von heute verlangt aber Unterrichtsmittel, die rationellen Einsatz und hohe Effektivität sicher stellen.

Durch den Einsatz neuer Materialien, insbesondere der magnetischen Haftelemente, werden konstruktive Möglichkeiten genutzt, die zur Entwicklung des neuen Haftoptiksatzes führten. Der Aufbau der Experimente erfolgt an einer vertikalen Hafttafel aus Stahlblech. Alle Bauteile haften an der Tafel magnetisch. Der Umfang der Aufbauteile des Satzes entspricht den Erfordernissen des Lehrplanes einer modernen Schule.

Wie bei jedem Aufbausatz ist auch beim Haftoptiksatz eine größtmögliche Variationsbreite der Experimente gegeben. Die beigegebene Anleitung soll nur die Breite des Anwendungsbereiches zeigen, nicht aber eine methodische Vorschrift darstellen. Zum methodischen Einsatz muß an dieser Stelle betont werden, daß der Haftoptiksatz nicht eine optische Bank ersetzen soll. Haftoptik und optische Bank sollen sich einander ergänzen. Für den Einsatz sollte jeweils Aufwand und Effekt maßgebend sein.

Mit der Haftoptik sind auch eine Reihe von Versuchen möglich, die mit den bisherigen Mitteln unmöglich waren, wie Bildkonstruktionen und Strahlengänge an optischen Geräten.

Es liegt in der Natur der „Aufbauphysik“, daß Aufbau und Durchführung mit solchen Mitteln anfänglich etwas schwierig erscheinen. Die solide Konstruktion der Einzelteile und etwas Übung ermöglichen aber eine sichere Handhabung.

Als bedeutsame Verbesserung wird der Lehrer die Tatsache finden, daß für die Durchführung der Experimente nur ein teilweise abgedunkelter Raum notwendig ist, was für die Unterrichtsführung eine große Erleichterung bringt.

Beschreibung der Aufbauteile

Der Experimentiersatz Haftoptik besteht aus folgenden Teilen:

Nr.	Stück	Benennung	Nr.	Stück	Benennung
1	3	Haftleuchte	13	1	Linse plankonvex R 125
2	1	Haftleuchte, kurz	14	1	Linse bikonvex R 150
3	1	Stromverteiler	15	1	Linse bikonkav R 150
4	1	Blende mit Spalten	16	1	Linse bikonvex R 100
5	2	Blende, klein	17	8	Haftzeichen
6	2	Farbfilter	18	5	Pfeile
7	2	Schattenkörper	19	1	Halbrundkörper R 75
8	1	Spiegel	20	1	planparallele Platte
9	1	Spiegel, variabel	21	1	Prisma 90°
10	1	Lineal	22	1	Winkelskale
11	3	Lampe 6 V, 15 W	23	1	Anleitungsheft
12	3	Lampe 6 V, 10 W			

- 1., 2. **Die Haftleuchten** sind speziell für die Erzeugung von Lichtstrahlen konstruiert. Die 6 V, 15 W Glühlampen liefern ausreichend helles Licht. Der Glühfaden der Lampe muß senkrecht zur Tafel stehen. Die senkrechte Lage läßt sich durch Drehung des Lampensockels justieren. Der Lampensockel ist an einem Blechwinkel befestigt, der sich im Lampengehäuse verschieben läßt. Damit kann man die Schärfe des Lichtstrahls einstellen. Mit der kleinen Plastschraube wird der Lichtstrahl senkrecht zur Tafel reguliert. Bei der Justierung der Lampe muß darauf geachtet werden, daß sie in der Mitte des Gehäuses liegt. Andernfalls tritt der Lichtstrahl schräg aus. Dies kann eintreten, wenn durch unsachgemäßes Justieren der Blechwinkel des Lampensockels verbogen wurde. Bei richtig eingestellter Lampe liefern alle drei Lampen aneinander gelegt drei parallele Lichtstrahlen, mit einem Abstand von 3 cm. Ein divergentes Lichtbündel erhält man von einer kurzen Haftleuchte ohne Kondensorlinse. Die Lampe dazu wird von einer normalen Haftleuchte benutzt.
3. **Der Stromverteiler** besitzt drei Buchsenpaare für den gleichzeitigen Anschluß der drei Haftleuchten. Er wird an günstiger Stelle der Tafel befestigt.
- 4., 5. **Die Blenden** sind zur Bildung von Spalten beliebiger Breite bestimmt. Außerdem dienen sie zur Ausblendung störender Lichtreflexe. Die große Blende besitzt Spalte für spezielle Anwendungen.

6. **Die Farbfilter** werden zur unterschiedlichen Färbung der Lichtstrahlen benutzt.
7. **Die Schattenkörper** sind als Halbkugeln ausgebildet, so daß sie u. a. auch zur Darstellung astronomischer Erscheinungen geeignet sind.
8. **Der Planspiegel** besitzt eine Justiermöglichkeit, so daß die günstigsten Reflexionsbedingungen eingestellt werden können.
9. **Der variable Spiegel** ist ein polierter Chromnickel-Blechstreifen. Er soll nur mit einem weichen Poliertuch geputzt werden.
10. **Das Lineal** wird zum Nachzeichnen von Lichtstrahlen oder zur rückwärtigen Verlängerung von Lichtstrahlen benutzt. Auf dem Lineal sind die jeweiligen Brennweiten eingetragen.
- 11., 12. **Die Lampen** verschiedener Leistung sind leicht auswechselbar.
- 13...16. **Die Linsenkörper:** Der Satz enthält drei Konvexlinsen, eine Konkavlinse. Das Material ist Placryl, mit der Brechzahl $n = 1,49$. Zur Orientierung bei der Justierung auf der Tafel haben die Linsenkörper Markierungen für optische Achse und „Hauptebene“.
- 17...18. **Die Haftzeichen und Pfeile** dienen zur Vervollständigung des Tafelbildes. Die Lagen des Gegenstandes, des Bildes und der Brennpunkte lassen sich durch Haftzeichen und Pfeile schnell, einfach und gut sichtbar markieren.
- 19...21. **Die optischen Körper:** Halbrundkörper, planparallele Platte und Prisma 90° sind ebenfalls aus Placryl.
22. **Die Winkelskala** befindet sich auf einem Bogen Papier, der mit Hilfe der Haftzeichen leicht an der Tafel befestigt werden kann.

Die Hafttafel gehört nicht zum Gerät. Es ist aber grundsätzlich jede ebene Stahlblechtafel geeignet.

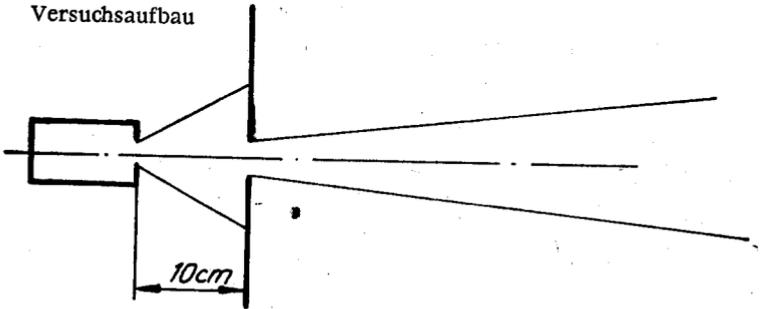
Die Sichtbarkeit der Strahlengänge ist um so besser, je heller der Tafelgrund ist. Es ist zu empfehlen, eine Hafttafel ohne Rand mit hellgrauer Grundfarbe zu streichen. Fühlbare Pinselftriche müssen durch vorsichtiges Schleifen beseitigt werden.

Versuche zur Ausbreitung des Lichtes

1. Geradlinige Ausbreitung

- 1.1. Aufbauteile: 1 Haftleuchte, kurz
2 Blenden, klein
1 Blende mit Spalten

1.2. Versuchsaufbau



1.3. Versuchsdurchführung

Es soll gezeigt werden, wie durch die Abschirmung der Lampe, aus der allseitigen Ausbreitung des Lichtes ein schmales Strahlenbündel ausgeblendet wird, welches bei allen weiteren Versuchen als „Lichtstrahl“ bezeichnet werden soll.

1.3.1. Teilversuch

Konstruktiver Aufbau der Haftleuchte

Man zeigt die Haftleuchte eingeschaltet von der Rückseite. Es wird auf die allseitige Lichtausbreitung hingewiesen. Das Gehäuse der Leuchte wird als Abschirmung zum Zwecke der Strahlerzeugung erläutert.

1.3.1.1. Teilergebnis:

Eine teilweise abgeschirmte Lichtquelle erzeugt ein Lichtstrahlenbündel.

1.3.2. Teilversuch

Die Entstehung des Lichtstrahls

Die Lampe in der kurzen Haftleuchte wird soweit wie möglich nach vorn gebracht. Die Leuchte wird auf die Tafel gesetzt und als punktförmige Lichtquelle angenommen. Die Leuchte erzeugt

jetzt ein divergentes Strahlenbündel. Aus diesem Strahlenbündel wird nun mit Hilfe der zwei kleinen Blenden ein etwa 1 cm breites Strahlenbündel ausgeblendet. Es ist immer noch divergent. Wird nun die Spaltbreite kleiner gewählt, so ist die Divergenz bei etwa 1 mm Spaltbreite nicht mehr zu beobachten.

1.3.2.1. Teilergebnis:

Durch eine Blende mit kleiner Spaltbreite läßt sich ein paralleles Lichtbündel – ein Lichtstrahl erzeugen.

1.3.3. Teilversuch

Erklärung der Divergenz aus Radialstrahlen

An Stelle der kleinen Blenden wird die große Blende mit Doppelspalt eingesetzt. Es entstehen zwei Lichtstrahlen, die nicht parallel, sondern divergent verlaufen. Die rückwärtigen Verlängerungen beider Strahlen schneiden sich in der Lichtquelle.

1.3.3.1. Teilergebnis:

Von einer punktförmigen Lichtquelle breiten sich die Lichtstrahlen radial aus. Dadurch muß ein aus vielen Einzelstrahlen bestehendes Lichtbündel hinter einer Blende divergent verlaufen.

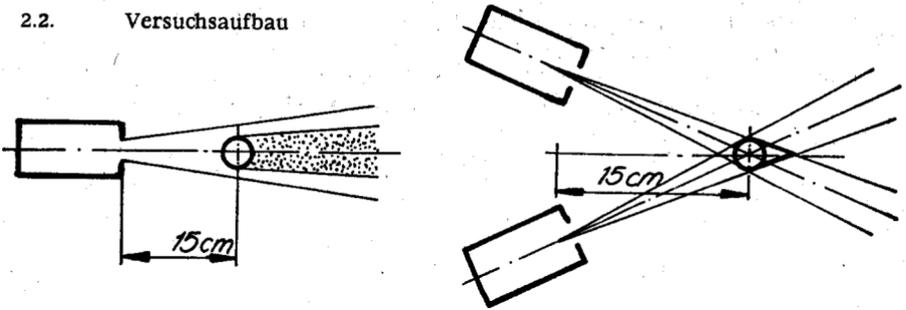
1.4. Ergebnis

Von einer punktförmigen Lichtquelle gehen allseitig und geradlinig in radialer Richtung Lichtstrahlen aus. Durch Spaltblenden werden Lichtstrahlenbündel erzeugt. Sie bestehen aus vielen Einzelstrahlen. Mit geringer Spaltbreite lassen sich Lichtstrahlenbündel erzeugen, die auf der betrachteten Strahlenlänge von etwa 1 m nahezu parallel verlaufen. Diese Strahlenbündel werden für die folgenden Versuche verwendet und als „Lichtstrahl“ bezeichnet.

2. Entstehung von Schatten

- 2.1. Aufbauteile: 1 Haftleuchte, kurz
1 Haftleuchte (umbauen)
1 Schattenkörper, klein
1 planparallele Platte

2.2. Versuchsaufbau



2.3. Versuchsdurchführung

Dieser Versuch soll zuerst die optischen Eigenschaften verschiedener Körper zeigen. Daraus wird die Ursache der Schattenbildung abgeleitet. Dann werden Kern- und Halbschatten gezeigt, die als Folge unterschiedlicher Beleuchtung entstehen.

2.3.1. Teilversuch

Untersuchung von Körpern nach schattenbildenden Eigenschaften
In den Lichtkegel der kurzen Haftleuchte werden nacheinander die zu untersuchenden Körper gebracht. Zuerst der undurchsichtige kleine kugelförmige Schattenkörper. Dann wird an Stelle des Schattenkörpers die planparallele Platte eingesetzt.

2.3.1.1. Teilergebnis:

Schatten werden von lichtundurchlässigen Körpern erzeugt.

2.3.2. Teilversuch

Kern- und Halbschatten

In diesem Versuch werden zwei Lichtquellen mit divergentem Strahl benötigt. Die normalen Haftleuchten, die für die Erzeugung eines parallelen Lichtstrahles konstruiert sind, eignen sich dazu nicht. Man kann sich aber aus einer normalen Haftleuchte behelfsweise eine geeignete Lichtquelle herstellen. Zu diesem Zweck wird die Lampe mit der Fassung aus dem Gehäuse genommen und um 180° gedreht, wieder soweit wie möglich in das Gehäuse eingesetzt, die Lampe strahlt jetzt nach hinten. Die so umgebaute Leuchte muß beim Experiment mit der Hand gehalten werden, da sie wegen der unter dem Gehäuse durchlaufenden elektrischen Leitung nicht mehr haftet. Als Schattenkörper wird die kleine Halbkugel benutzt. Der Abstand zwischen Lichtquellen und Schattenkörper wird variiert.

2.3.2.1. Teilergebnis:

Mehrere Lichtquellen erzeugen an einem Körper mehrere Schatten. Der Raum hinter dem Körper, der von keiner Lichtquelle erreicht wird, bildet den Kernschatten (Schlagschatten). Der Abstand zwischen Lichtquelle und Schattenkörper bestimmt die Schattenlänge.

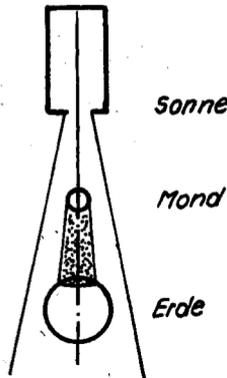
2.4. Ergebnis

Lichtundurchlässige Körper erzeugen Schatten. Kern- und Halbschatten entstehen durch mehrere Lichtquellen.

3. Sonnen- und Mondfinsternis

- 3.1. Aufbauteile: 1 Haftleuchte, kurz
2 Schattenkörper

3.2. Versuchsaufbau



3.3. Versuchsdurchführung

Im Versuch wird die Schattenbildung durch Erde oder Mond in ihrer jeweiligen Stellung zur Sonne gezeigt.

3.3.1. Teilversuch

Sonnenfinsternis

Der große Schattenkörper wird in den Lichtkegel der Lichtquelle gebracht. Er stellt die Erde dar. Zwischen Lichtquelle (Sonne) und großem Schattenkörper wird der kleine Schattenkörper eingesetzt. Er stellt den Mond dar. Der Schatten des kleineren Körpers fällt auf den größeren Körper.

3.3.2. Teilversuch

Mondfinsternis

Die Durchführung erfolgt analog dem vorangegangenen Teilversuch. Der große Schattenkörper steht jetzt zwischen Lichtquelle und kleinem Schattenkörper.

3.4. Ergebnis:

Stehen Sonne, Erde und Mond in einer Ebene, so erzeugt der dazwischenstehende Körper die Finsternis.

Mond zwischen Sonne und Erde:

Sonnenfinsternis für die Gebiete auf der Erde, die vom Mondschatten getroffen werden.

Erde zwischen Sonne und Mond:

Mondfinsternis, da der ganze Mond im Erdschatten liegt.

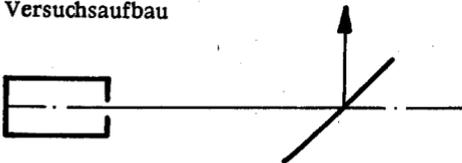
3.5. Hinweis

Sollte der Schatten bei der Darstellung der Sonnenfinsternis nicht von allen Plätzen zu sehen sein, so kann die Tafel nach vorn geneigt werden oder die Lichtquelle wird seitlich angeordnet.

4. Die Reflexion

- 4.1. Aufbauteile: 1 Haftleuchte
1 Blende, klein
1 Farbfilter, grün
1 Spiegel

4.2. Versuchsaufbau



4.3. Versuchsdurchführung

Der Versuch soll zur Erläuterung des Begriffes „Reflexion“ dienen. Durch Variation der reflektierenden Körper kann der Einfluß der Oberflächenbeschaffenheit auf die Reflexion gezeigt werden.

5.3. Versuchsdurchführung

Mit diesem Experiment soll das Gesetz der Reflexion gefunden werden. In der Mitte der Tafel wird mit Magneten die Winkelskala befestigt. (Dazu Haftzeichenmagnete aus diesem Satz benutzen! Auch die Haftmagnete aus dem Satz Zug- und Druckkraftmesser können dazu gut verwendet werden.)

Auf das Koordinatenkreuz der Winkelskala wird der Spiegel so aufgesetzt, daß die Null-Achse senkrecht zum Spiegel steht, also das Einfallslot bildet. Den Lichtstrahl der seitlich angeordneten Lichtquelle richtet man genau auf den Koordinatenmittelpunkt. Der Einfallswinkel α und der Reflexionswinkel α' können abgelesen werden. Nun werden verschiedene Einfallswinkel eingestellt und die dazugehörigen Reflexionswinkel abgelesen. Die Ergebnisse können in einer Tabelle eingetragen werden,

z. B.:

α	α'
45°	45°
10°	10°
60°	60°

5.4. Ergebnis

Ein Lichtstrahl wird am ebenen Spiegel so reflektiert, daß Einfallswinkel und Reflexionswinkel gleich groß sind.

$$\alpha = \alpha'$$

5.5. Hinweis

Es kann hier darauf verwiesen werden, daß dieses Gesetz nur gilt, wenn einfallender und reflektierter Strahl in einer Ebene liegen, was in diesem Fall durch die Tafel Ebene gegeben ist.

6. Die Reflexion am Hohlspiegel

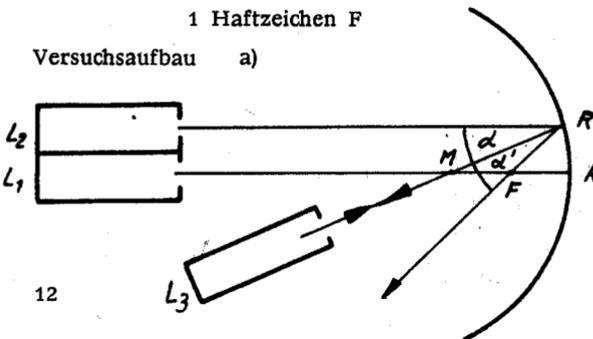
6.1. Aufbauteile: 3 Haftleuchten

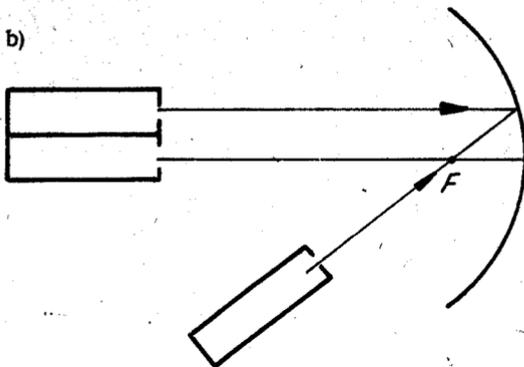
1 Spiegel, variabel (als Hohlspiegel)

1 Pfeil

1 Haftzeichen F

6.2. Versuchsaufbau a)





6.3. Versuchsdurchführung

Zuerst soll gezeigt werden, daß die Reflexion an gekrümmten Spiegelflächen grundsätzlich nach den gleichen Gesetzen erfolgt wie an ebenen Spiegeln. Dann werden die für die Bildkonstruktion benötigten Hauptstrahlen untersucht.

6.3.1. Teilversuch

Reflexionsgesetz am Hohlspiegel

Der Versuchsaufbau entspricht der Abb. 6.2. a.

Mit L_1 wird horizontal ein Lichtstrahl abgebildet, er stellt die optische Achse dar. Der variable Spiegel wird als Hohlspiegel mit einer Öffnung von etwa 30 cm so auf die optische Achse gesetzt, daß der Lichtstrahl von L_1 in sich zurück reflektiert wird. Parallel zu L_1A erzeugt L_2 einen Lichtstrahl im Abstand von etwa 8...10 cm, dieser wird durch den Brennpunkt F reflektiert. Danach wird der Lichtstrahl von L_3 so auf den Punkt R gerichtet, daß er in sich zurück reflektiert wird. Die Lichtstrahlen von L_1 und L_3 stehen senkrecht auf der Spiegelfläche. Es sind Radien vom Kreisbogen des Spiegels. Ihr Schnittpunkt ist somit der Krümmungsmittelpunkt M . Es läßt sich durch Messung bestimmen, daß α gleich α' ist.

6.3.1.1. Teilergebnis:

Wird der reflektierende Punkt R des Spiegels als unendlich kleines, ebenes Flächenstück einer Kugelfläche aufgefaßt, so erfolgt die Reflexion an diesem Flächenstück nach dem Gesetz $\alpha = \alpha'$.

6.3.2. Teilversuch

Die drei Hauptstrahlen

Mit L_1 wird wieder die optische Achse gebildet. Der Spiegel ist wie im Teilversuch 6.3.1. auf die optische Achse zu setzen. Dieser

7.3. Versuchsdurchführung

Dieser Versuch dient in erster Linie zur Demonstration der Bildkonstruktion mit Hilfe von zwei Hauptstrahlen. In einer anschließenden Betrachtung können mit dem gleichen Aufbau die Gleichungen für den Abbildungsmaßstab und die Hohlspiegelgleichung abgeleitet werden.

7.3.1. Teilversuch

Konstruktion des reellen Bildes

Aus optischen und konstruktiven Gründen ist der Aufbau des Versuches etwas kritisch. Deshalb sollte dieser Versuch schon vor dem Unterricht in folgender Weise aufgebaut werden.

Mit Kreide wird in der Tafelmitte die optische Achse gezeichnet. Nun markiert man auf der optischen Achse die Lage des Spiegels, den Brennpunkt und die Orte von Gegenstand und Bild entsprechend den Angaben in Abb. 7.2.. Für Gegenstand und Bild sind die entsprechenden Pfeile einzusetzen. Mit L_1 erzeugt man nun einen Strahl auf der optischen Achse und mit L_2 einen Parallelstrahl in Höhe der Pfeilspitze des Gegenstandes. An der entsprechenden Stelle wird nun der Spiegel mit einer Scheitelmarkierung auf die optische Achse gesetzt. Er wird symmetrisch zur optischen Achse an beiden Seiten gleichzeitig zum Hohlspiegel gebogen, bis der Strahl von L_2 durch den Brennpunkt und über die Spitze von B verläuft. Dabei ist darauf zu achten, daß der Strahl von L_1 immer in sich reflektiert wird. Am besten setzt man hinter dem Spiegel einen Haftmagnet auf die optische Achse, dadurch behält der Spiegel seinen Scheitelpunkt, wenn er seitlich abgebogen wird. Sollte nun der Strahl von L_3 nicht durch die Spitze von B, also nicht parallel verlaufen, so muß die Spiegelkrümmung korrigiert werden. Der richtige Strahlenverlauf hängt also von der richtigen Krümmung des Spiegels ab, die in der o. a. Weise gefunden wird.

7.3.1.1. Teilergebnis:

Von einem Gegenstand außerhalb der doppelten Brennweite wird am Hohlspiegel ein umgekehrtes, verkleinertes Bild erzeugt.

7.3.2. Teilversuch

Zur Bildkonstruktion

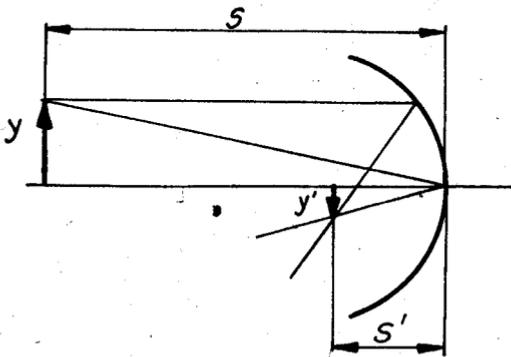
Durch Variation der Gegenstandsweite wird nun gezeigt, wie Bildgröße und Ort des Bildes von der Gegenstandsweite abhängen. Es ist darauf zu achten, daß sich die Lage des Spiegels nicht verändert.

7.3.3. Teilversuch

Der Abbildungsmaßstab und die Hohlspiegelgleichung

Sind die Verhältnisse bei verschiedenen Gegenstandsweiten gezeigt, dann werden die Verhältnisse nach Abb. 7.2. wieder hergestellt. Der Strahl von L_3 wird auf den Spiegelscheitel gerichtet, so daß die Abbildung nach 7.3.3.1. entsteht.

7.3.3.1. Versuchsaufbau



Man definiert die Begriffe: Gegenstandsgröße y , Bildgröße y' , Gegenstandsweite s und die Bildweite s' . Die Symbole y , y' , s und s' werden im Versuchsaufbau eingezeichnet. Auch die Strahlen nach Abb. 7.3.3.1. werden mit Kreide nachgezeichnet. Es entstehen die schraffierten Dreiecke. Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke und den gemessenen Größenverhältnissen läßt sich die Gleichung für den Abbildungsmaßstab ableiten.

7.3.3.2. Teilergebnis:

Die Größen von Gegenstand und Bild verhalten sich wie ihre Entfernung zum Spiegel.

$$y : y' = s : s'$$

7.3.4. Teilversuch

Die Hohlspiegelgleichung

Der Versuch wird nach Abb. 7.2. aufgebaut. Entsprechend der Abb. 7.3.4.1. werden die Strahlen mit Kreide nachgezeichnet und die Dreiecke schraffiert. Der Parallelstrahl wird ausgeschaltet, da er für die weitere Erklärung nicht benötigt wird. Das Tafelbild gestaltet sich dadurch übersichtlicher.

Aus der Abbildung läßt sich nun die Beziehung

$$\frac{Y}{Y'} = \frac{s - f}{f} \quad \text{ableiten.}$$

Im Teilversuch 7.3.3. wurde $\frac{Y}{Y'} = \frac{s}{s'}$ gefunden.

Durch Gleichsetzung erhält man die Gleichung

$$\frac{s}{s'} = \frac{s - f}{f} \quad \text{oder} \quad \frac{s}{s'} = \frac{s}{f} - \frac{f}{f}$$

Nach Division der Gleichung durch s folgt $\frac{1}{s'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s}$

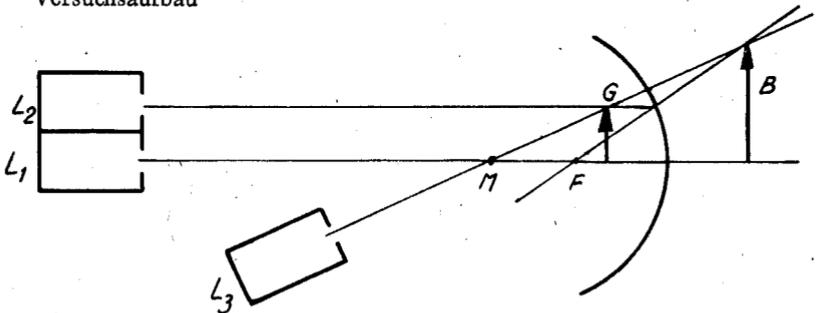
Durch Umstellung erhält man $\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$ die Hohlspiegelgleichung.

7.3.5. Teilversuch

Konstruktion des virtuellen Bildes

Der Spiegel wird analog dem ersten Teilversuch justiert. Der Gegenstand wird nahe dem Brennpunkt innerhalb der Brennweite eingesetzt. L_2 liefert den Parallelstrahl und L_3 den Mittelpunktstrahl. Mit Hilfe des Lineals werden nun der Mittelpunktstrahl und der durch den Brennpunkt laufende Strahl hinter dem Spiegel mit Kreide weiter gezogen. Im Schnittpunkt der beiden Strahlen liegt die Spitze von B.

7.3.5.1. Versuchsaufbau



siehe 7.3.3.1.

7.3.5.2. Teilergebnis:

Von einem Gegenstand innerhalb der einfachen Brennweite wird am Hohlspiegel ein aufrechtes, vergrößertes Bild erzeugt.

7.4. Ergebnis

Hohlspiegel erzeugen reelle oder virtuelle Bilder. Der Ort und die Größe des Bildes hängen von der Stellung des Gegenstandes ab. Es gelten die Gesetze:

$$Y : Y' = s : s' \quad \text{und} \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

7.5. Hinweise

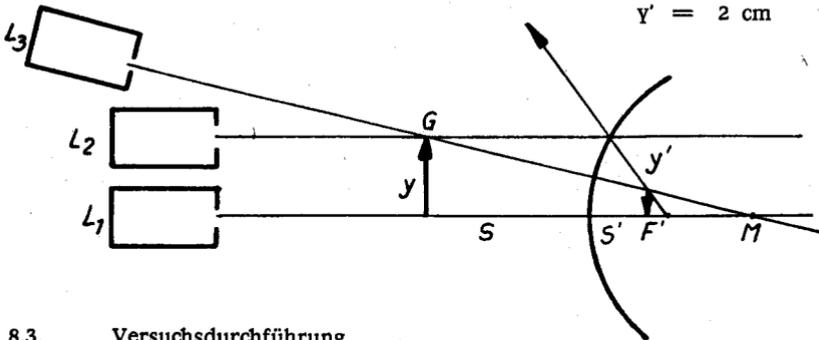
Zur Konstruktion des reellen Bildes können als Hauptstrahlen auch Parallel- und Mittelpunktstrahlen verwendet werden. In diesem Fall ist eine längere Brennweite von etwa 18 cm günstiger.

8. Die Bildentstehung am Wölbspiegel

- 8.1. Aufbauteile: 1 Spiegel, variabel als Wölbspiegel
 3 Haftleuchten
 2 Pfeile
 1 Lineal

8.2. Versuchsaufbau

$$\begin{aligned} f &= 9 \text{ cm} & s' &= 6 \text{ cm} \\ s &= 22 \text{ cm} & Y &= 6 \text{ cm} \\ & & Y' &= 2 \text{ cm} \end{aligned}$$



8.3. Versuchsdurchführung

Mit dem Versuch wird die Entstehung des virtuellen Bildes am Wölbspiegel gezeigt. Zur Bildkonstruktion wird der Parallel- und der Mittelpunktstrahl sowie der virtuelle Brennpunkt F' verwendet. Zuerst wird mit Kreide die optische Achse gezeichnet. Die in der Abbildung angegebene Lage des Spiegels, und die von Gegenstand und Bild, wird auf der optischen Achse markiert. Auch die Punkte für F und $M = 2 \cdot f$ werden eingezeichnet. Bevor der Spiegel eingesetzt wird, bringt man die Pfeile für Gegenstand

und Bild an. Mit L_3 wird der Mittelpunktstrahl erzeugt, der über die Pfeilspitzen nach M verläuft. Der Strahl von L_3 kann gleich mit Kreide nachgezogen werden. Nun wird der Spiegel eingesetzt und so gekrümmt, daß der Strahl von L_3 in sich reflektiert wird. Der Parallelstrahl von L_2 muß dann in der Verlängerung des reflektierten Teils durch F' laufen. Andernfalls muß die Spiegelkrümmung korrigiert werden. Die rückwärtige Verlängerung wird mit dem Lineal gebildet und mit Kreide nachgezeichnet.

8.4. Ergebnis

Mit Hilfe des virtuellen Brennpunktes F' kann am Wölbspiegel ein Bild konstruiert werden. Am Wölbspiegel entstehen verkleinerte, aufrechte, virtuelle Bilder. Für Strahlenverlauf und Bildentstehung gelten sinngemäß die gleichen Regeln wie am Hohlspiegel.

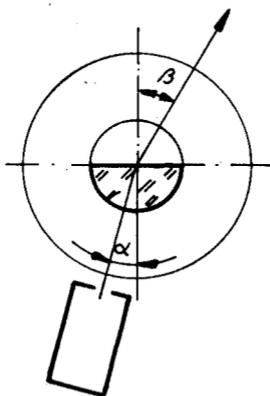
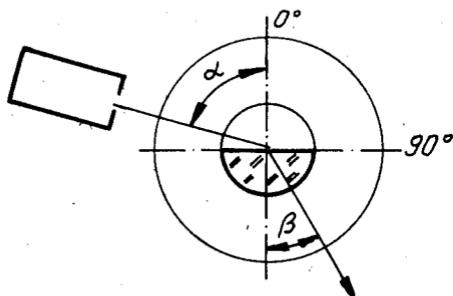
9. Die Brechung des Lichtes

- 9.1. Aufbauteile: 1 Halbrundkörper
 1 Haftpfeile
 1 Winkelskala
 4 Magnete zur Befestigung der Skale

9.2. Versuchsaufbau

a)

b)



9.3. Versuchsdurchführung

Der erste Teil des Versuches zeigt die Brechung eines Lichtstrahls beim Übergang in ein anderes Medium. Mit tabellarisch festgehaltenen Winkelwerten wird im zweiten Teil das Brechungsgesetz bestätigt.

9.3.1. Teilversuch

Der Übergang von Licht aus Luft in Glas

Für diese Versuche wird der Halbrundkörper benutzt. Durch diesen Körper wird eine zweite Brechung beim Austritt des Lichtstrahls aus dem Glaskörper, was bei dieser Betrachtung stören würde, vermieden. Der Aufbau erfolgt nach Abb. 9.2. a. Der Lichtstrahl wird unter beliebigem Winkel auf den Koordinatenmittelpunkt gerichtet. Einfallswinkel α und Brechungswinkel β werden definiert.

9.3.1.1. Teilergebnis:

Erfolgt der Übergang in ein optisch dichteres Medium, so wird der Lichtstrahl zum Lot hingebrochen.

9.3.2. Teilversuch

Der Übergang von Licht aus Glas in Luft

Der Aufbau erfolgt nach Abb. 9.2. b, die Durchführung analog dem ersten Teilversuch.

9.3.2.1. Teilergebnis:

Erfolgt der Übergang in ein optisch dünneres Medium, so wird der Lichtstrahl vom Lot weggebrochen.

9.3.3. Teilversuch

Bestätigung des Brechungsgesetzes

Der Versuch wird analog den ersten Teilversuchen nach Abb. 9.2. a und 9.2. b aufgebaut. Man stellt nacheinander verschiedene Einfallswinkel ein.

Die nachfolgende Tabelle gibt als Beispiel einige Werte an.

Übergang Luft in Glas	Einfallswinkel in Grad	Brechungswinkel in Grad	Brechzahl n
	20	13	1,52
	40	25	1,50
	60	35	1,50
	80	40	1,53

9.3.3.1. Teilergebnis:
Der Quotient

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

ergibt einen konstanten Wert, dieser ist als Brechzahl „n“ definiert. Für Placryl, aus dem die verwendeten Linsenkörper gefertigt sind, ist $n = 1,49$.

9.4. Ergebnis

Beim Übergang eines Lichtstrahls in ein anderes Medium wird der Lichtstrahl gebrochen. Der Sinus des Einfallswinkels und der Sinus des Brechungswinkels stehen in einem konstanten Zahlenverhältnis, welches die Brechzahl n angibt.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$$

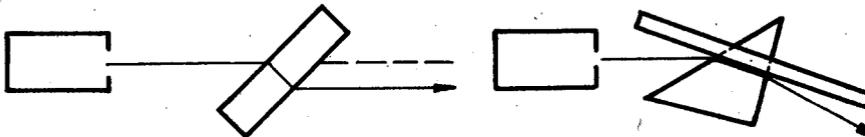
10. **Brechung an der planparallelen Platte und am Prisma**

- 10.1. Aufbauteile: 1 Haftpfeuchte
1 planparallele Platte
1 Prisma
1 Lineal

10.2. Versuchsaufbau

a)

b)



10.3. Versuchsdurchführung

Es soll die zweimalige Brechung an einer planparallelen Platte gezeigt werden, die zur Parallelverschiebung des Lichtstrahls führt. In einem zweiten Versuch wird die zweimalige Brechung an zwei nicht parallelen Grenzflächen gezeigt.

10.3.1. Teilversuch

Parallelverschiebung an der planparallelen Platte

Auf die Tafel wird mit Kreide eine optische Achse gezeichnet. Dann wird entsprechend der Abb. 10.2. a die Leuchte aufgesetzt und in etwa 45° zur optischen Achse die planparallele Platte.

10.3.1.1. Teilergebnis:

An der planparallelen Platte ist die zweimalige Brechung und der um ca. 2 cm parallel verschobene Strahl deutlich zu erkennen.

10.3.2. Teilversuch

Brechung am Prisma

Entsprechend der Abb. 10.2. b wird an Stelle der planparallelen Platte das Prisma eingesetzt. Die Schrägstellung des Prismas wird so gewählt, daß der gebrochene Strahl im Prisma und hinter dem Prisma gut zu erkennen ist. Zur besseren Erkennbarkeit der ersten Brechung wird das Lineal in Richtung des im Prisma verlaufenden Strahls angelegt.

10.3.2.1. Teilergebnis:

Die Brechung am Prisma erfolgt so, daß eine starke Ablenkung aus der ursprünglichen Richtung erfolgt.

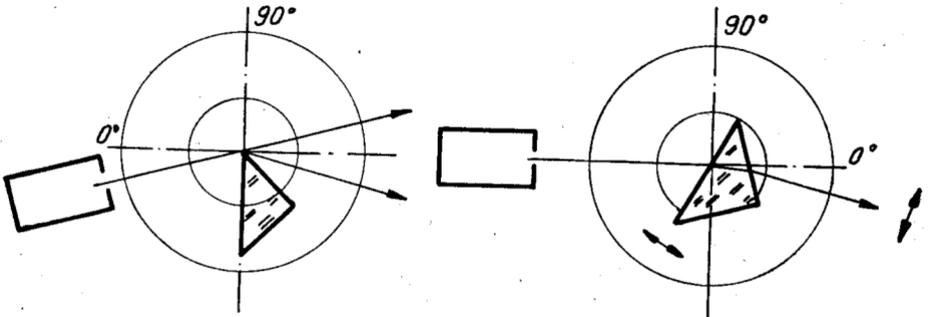
10.4. Ergebnis

Durchläuft ein Lichtstrahl ein optisches Medium, so wird er beim Eintritt und beim Austritt gebrochen. Nur wenn die Grenzflächen parallel zu einander liegen, tritt eine Parallelverschiebung des Lichtstrahls ein.

11. Der Ablenkungswinkel am Prisma

- 11.1. Aufbauteile: 1 Haftleuchte
1 Prisma
1 Winkelskala
4 Magnete zur Befestigung der Skale

11.2. Versuchsaufbau



11.3. Versuchsdurchführung

Der Versuch soll eine einfache Möglichkeit zur Messung des Ablenkungswinkels zeigen, sowie die richtige Zuordnung von Strahl und Lot hervorheben. Der zweite Teilversuch soll die Bedingung zur minimalen Ablenkung demonstrieren.

11.3.1. Teilversuch

Messung des Ablenkungswinkels

Der Versuch wird nach Abb. 11.2. a aufgebaut. Die brechende Kante (45°) wird soweit in den Koordinatenmittelpunkt gebracht, daß sie einen Teil des Lichtstrahls noch in gerader Richtung passieren läßt. Die senkrechte Achse bildet auf der Einfallseite das Lot. Auf der Austrittseite wird das Lot vom ungebrochenen Teil des Lichtstrahls gebildet. Der Ablenkungswinkel wird auf der Winkelskala abgelesen.

11.3.1.1. Teilergebnis:

Der Ablenkungswinkel wird zwischen Lot und dem von der brechenden Kante weggebrochenen Strahl gemessen.

11.3.2. Teilversuch

Demonstration der minimalen Ablenkung

Der Versuchsaufbau wird nach Abb. 11.2. b geändert.

Wenn das Prisma in angegebener Richtung verstellt wird, kann der sich ändernde Ablenkungswinkel beobachtet werden. Dabei kann eine Stellung gefunden werden, bei der minimale Ablenkung erfolgt. In dieser Stellung wird der im Prisma verlaufende Teil des Lichtstrahls beobachtet.

11.3.2.1. Teilergebnis:

Minimale Ablenkung tritt auf, wenn der Lichtstrahl das Prisma symmetrisch durchläuft.

11.4. Ergebnis

Der ein Prisma durchlaufende Lichtstrahl wird aus seiner Richtung abgelenkt. Der Ablenkungswinkel hängt vom Einfallswinkel ab.

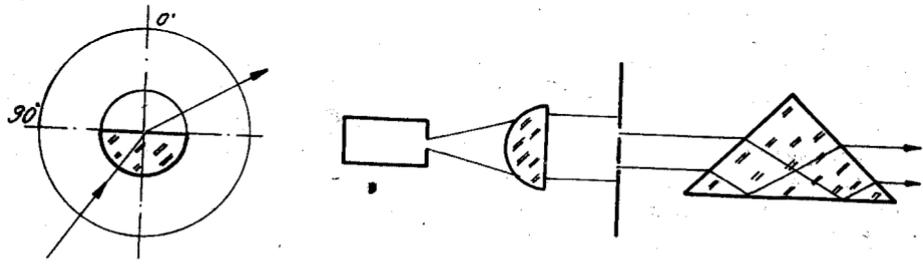
11.5. Hinweise

Wenn im Versuch nach Abb. 11.2. die Stellung der Leuchte verändert wird, kann in einer Versuchsreihe die Abhängigkeit des Brechungswinkels vom Einfallswinkel untersucht werden (Diagramm).

12. Die Totalreflexion

- 12.1. Aufbauteile: 1 Halbrundkörper
1 Haftleuchte
1 Prisma
1 Winkelskala
4 Magnete zum Befestigen der Winkelskala
1 Haftleuchte, kurz
1 Blende mit Spalten

12.2. Versuchsaufbau



12.3. Versuchsdurchführung
Der erste Teilversuch wird zur Definition der Totalreflexion durchgeführt. In einem weiteren Versuch wird die Totalreflexion am Prisma gezeigt, wobei auf Anwendungsmöglichkeiten hingewiesen werden kann.

12.3.1. Teilversuch

Definition der Totalreflexion

Ist die Versuchsanordnung nach Abb. 12.2. a aufgebaut, wird zuerst die Brechung bei einem Einfallswinkel von 10° gezeigt. Dann wird der Einfallswinkel allmählich vergrößert. Dabei ist zu beobachten wie der Brechungswinkel ebenfalls gegen 90° größer wird. Es ist dabei darauf zu achten, daß der einfallende Strahl immer auf den Koordinatenmittelpunkt fällt. Bei weiterer Vergrößerung des Einfallswinkels wird eine Stelle ($\approx 43^\circ$) gefunden, bei der keine Brechung mehr auftritt. Statt dessen ist eine Reflexion (im Glaskörper) zu beobachten.

12.3.1.1. Teilergebnis:

Der größtmögliche Brechungswinkel beträgt 90° . Der für eine Brechung von 90° notwendige Einfallswinkel wird „Grenzwinkel“

genannt. Wird der Grenzwinkel überschritten, tritt Totalreflexion ein. Der Grenzwinkel beträgt für den verwendeten Körper 43 Grad. Totalreflexion kann nur an der Grenzfläche des optisch dichteren zum optisch dünneren Medium auftreten.

12.3.2. Teilversuch

Totalreflexion am Prisma

Der in Abb. 12.2. b angegebene Versuchsaufbau demonstriert den Strahlenverlauf im Umkehrprisma. Die Umkehrung wird durch die Verwendung von zwei verschiedenfarbigen Lichtstrahlen gut sichtbar. Die Größe des Prismas bedingt zwei parallele Strahlen mit geringem Abstand. Bei zwei parallelen Haftleuchten ist der Abstand schon zu groß. Deshalb werden die zwei Strahlen in diesem Fall mit der Spaltblende erzeugt. Damit sie parallel verlaufen, wird mit dem Halbrundkörper paralleles Licht erzeugt. Die Lampe in der kurzen Leuchte wird dabei ganz nach vorn gebracht. In einem Strahl wird ein Farbfilter gestellt, dadurch wird die Umkehrung gut sichtbar.

12.3.2.1. Teilergebnis:

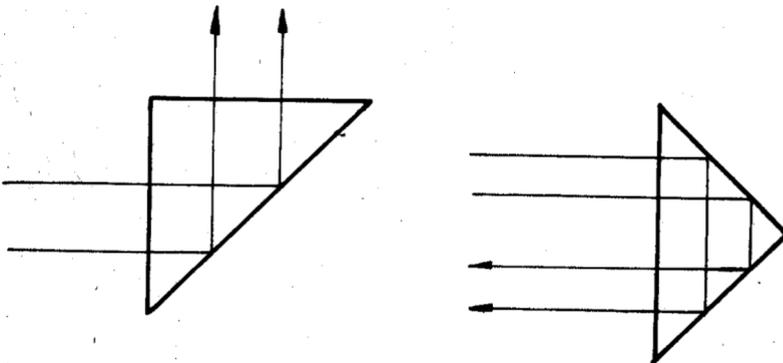
In einem Prisma erfolgt durch Totalreflexion eine Umkehrung.

12.4. Ergebnis

An der Grenzfläche zwischen Medien tritt Totalreflexion auf, wenn der Grenzwinkel überschritten wird. In Umkehrprismen findet die Totalreflexion in optischen Geräten Anwendung.

12.5. Hinweise

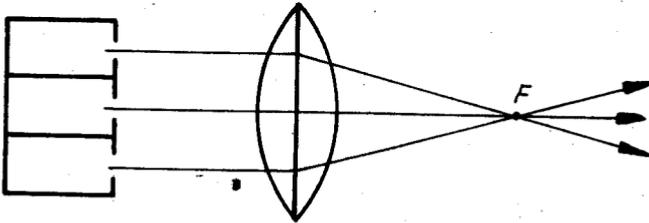
Weitere Reflexionserscheinungen am Prisma sind durch unten angegebene Variationen möglich. Dafür können auch weiter auseinander liegende Parallelstrahlen verwendet werden.



13. Strahlenverlauf an Linsen

- 13.1. **Aufbauteile:** 3 Haftpfeuchten
3 Linsen konvex R 100, R 125, R 150
1 Linse bikonkav R 100
2 Haftzeichen F
1 Lineal

13.2. Versuchsaufbau



13.3. Versuchsdurchführung

Der erste Teilversuch wird zur Definition des Brennpunktes durchgeführt. Im folgenden wird das Verhalten der Hauptstrahlen nach der Brechung an Konvexlinsen und der Strahlenverlauf an Konkavlinsen gezeigt.

13.3.1. Teilversuch

Definition des Brennpunktes

Zuerst wird auf die Bedingung des parallel einfallenden Lichtes hingewiesen. Zur Unterstreichung dieser wichtigen Voraussetzung werden unter verschiedenen Winkeln einfallende Strahlen und Randstrahlen gezeigt.

13.3.1.1. Teilergebnis:

Achsenparallele, achsnahe Lichtstrahlen vereinigen sich nach der Brechung im Brennpunkt.

13.3.2. Teilversuch

Verhalten der Hauptstrahlen

Bevor eine Konvexlinse und die Leuchten montiert werden, zeichnet man mit Kreide die optische Achse und die Linsenebene in der Mitte der Achse. Mit Hilfe des Lineals werden die Brennpunkte vor und hinter der Linse markiert. Dann setzt man die entsprechende Linse auf die gezeichnete Linsenebene. Nacheinander

kann nun das Verhalten der einzelnen Hauptstrahlen nach der Brechung vorgeführt werden. Man beachte, daß wegen der Dicke der Linsenkörper eine Parallelverschiebung des Mittelpunktstrahls auftritt.

13.3.2.1. Teilergebnis:

Parallelstrahlen werden zu Brennpunktstrahlen. Brennpunktstrahlen werden zu Parallelstrahlen. Der Mittelpunktstrahl wird nicht gebrochen.

13.3.3. Teilversuch

Strahlenverlauf an Konkavlinen

In den Strahlenverlauf von 3 parallelen Lichtstrahlen wird die Konkavlinse eingesetzt. An der zur Lichtquelle gerichteten Seite der Linse tritt Reflexion auf. Es ist darauf zu verweisen, daß es sich dabei nicht um die rückwärtige Verlängerung der divergent gebrochenen Lichtstrahlen handelt.

13.3.3.1. Teilergebnis:

Konkavlinen haben einen virtuellen Brennpunkt, den Zerstreuungspunkt.

13.4. Ergebnis

Zur Beurteilung der lichtbrechenden Eigenschaften von Linsen werden 3 ausgezeichnete Strahlen benutzt, der Mittelpunkt-, Parallel- und Brennpunktstrahl. Der Brennpunkt ist kein mathematischer Punkt. Konvexlinsen sammeln das Licht, Konkavlinen zerstreuen es.

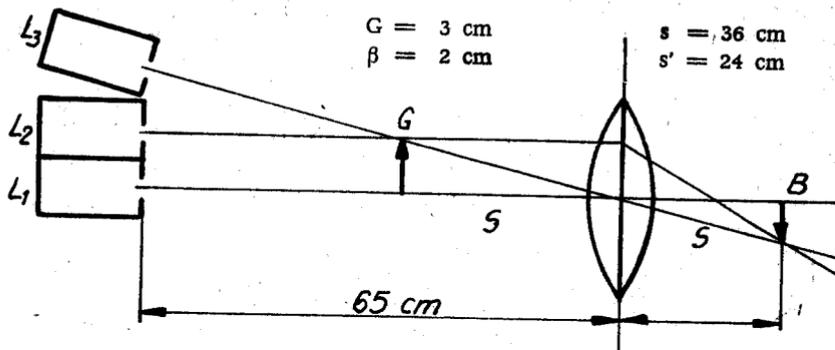
13.5. Hinweise

Zur Einführung dieses Themas kann auch die Entstehung des Brennpunktes von einem etwa 6 cm breiten Lichtbündel gezeigt werden, bevor man die Lichtstrahlen im einzelnen untersucht. Das parallele Lichtbündel erzeugt man wie in Abb. 12.2. b.

14. Die Bildkonstruktion an Sammellinsen

- 14.1. Aufbauteile: 1 Linse bikonvex R 150
3 Haftleuchten
2 Pfeile
1 Lineal

14.2. Versuchsaufbau



14.3. Versuchsdurchführung

Mit Hilfe der Hauptstrahlen kann Lage und Art des Bildes konstruktiv ermittelt werden.

In genetischer Aufbauweise wird mit L_1 zur Darstellung der optischen Achse begonnen. In Tafelmittle wird die Linse eingesetzt und die Brennpunkte werden markiert. Wird L_2 direkt an L_1 angelegt, so entsteht ein Parallelstrahl mit 3 cm Abstand. Man wählt deshalb den Gegenstand 3 cm hoch (Parallelstrahl). Bei größeren Gegenständen kommen bei den gegebenen Linsengrößen Randstrahlen zustande, die zu erheblichen Abweichungen führen. Soll nun die Bildgröße 2 cm werden, dann beträgt die zugehörige Bildweite 24 cm. Ein 3 cm großer Gegenstand muß dann eine Gegenstandsweite von 36 cm haben. Mit L_3 , die etwas weiter links als die anderen Leuchten montiert wird, kann ein Brennpunktstrahl oder ein Mittelpunktstrahl erzeugt werden, der (bei den angegebenen Maßen) die Spitzen von G und B schneidet. Selbstverständlich können auch andere Gegenstands- und Bildweiten gewählt werden. Die hier angegebenen Maße sollen Richtwerte für einen schnell reproduzierbaren Versuchsaufbau liefern.

14.4. Ergebnis

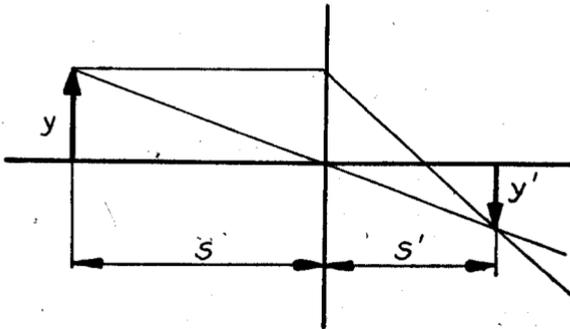
Eine Konvexlinse erzeugt von einem außerhalb der doppelten Brennweite stehenden Gegenstand ein umgekehrtes, verkleinertes, reelles Bild.

15. Die Abbildungsgleichung

- 15.1. Aufbauteile: 3 Haftleuchten
1 Linse konvex R 150
2 Pfeile
1 Lineal

15.2. Versuchsaufbau

Aus dem analog der Abb. 14.2. mit Mittelpunkt und Parallelstrahl aufgebauten Versuch gewinnt man das u. a. Tafelbild. Die Pfeile für G und B zeichnet man am besten farbig ein. Die Lichtstrahlen zwischen G und B werden so genau wie möglich mit schmalen Kreidestrichen nachgezeichnet. Die Linsenachse zeichnet man am besten schon vor dem Einsetzen der Linse. Werden nun die Leuchten und die Linse weggenommen, dann entsteht folgendes Tafelbild.



15.3. Versuchsdurchführung

In dem aus dem Strahlengang gewonnenen Tafelbild werden die zur weiteren Untersuchung benutzten Dreiecke schraffiert. Durch Messen werden folgende Größen zusammengestellt:

$$\begin{array}{l|l} Y = 3 \text{ cm} & s = 36 \text{ cm} \\ Y' = 2 \text{ cm} & s' = 24 \text{ cm} \end{array}$$

Aus der Ähnlichkeit der beiden schraffierten Dreiecke und den gemessenen Größen ergibt sich folgende Proportion:

$$\frac{Y}{Y'} = \frac{s}{s'}$$

15.4. Ergebnis

Die Gegenstandsgröße verhält sich zur Bildgröße wie die Gegenstandsweite zur Bildweite.

15.5. Hinweise

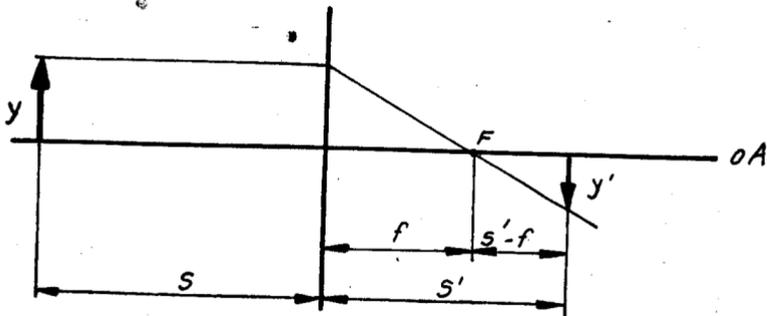
Das Ergebnis sollte mit den Verhältnissen am Hohlspiegel verglichen werden.

16. Die Abbildungsgleichung für Konvexlinsen

- 16.1. Aufbauteile: 3 Haftleuchten
1 Linse konvex R 150
2 Pfeile
1 Lineal

16.2. Versuchsaufbau

Mit dem Versuchsaufbau nach Abb. 14.2. und den Angaben nach Abb. 15.2. gewinnt man folgendes Tafelbild.



16.3. Versuchsdurchführung

Aus der Ähnlichkeit der beiden schraffierten Dreiecke ergibt sich die Proportion $y : y' = f : (s' - f)$. Aus dieser Gleichung und aus dem Versuch 15 erhält man durch Gleichsetzung:

$$s : s' = f : (s' - f)$$

Nach Umformung und Division mit $f \cdot s \cdot s'$ erhält man analog den Verhältnissen am Hohlspiegel die Abbildungsgleichung der Form:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \quad (\text{Linsengleichung})$$

16.4. Ergebnis

Der Kehrwert der Brennweite ist gleich der Summe des Kehrwertes von Gegenstandsweite und Bildweite.

Sind zwei Größen bekannt, so kann die dritte berechnet werden.

17. Die Bestimmung der Brennweite

- 17.1. Aufbauteile: 3 Haftpfeuchten
1 Linse konvex R 150
2 Pfeile
1 Lineal

- 17.2. Versuchsaufbau
Der Versuch wird nach Abb. 14.2. aufgebaut. Die folgenden Größen werden durch Messung bestimmt.

$$\begin{aligned}s &= 36 \text{ cm} & f &= 14,5 \text{ cm} \\s' &= 24 \text{ cm}\end{aligned}$$

- 17.3. Versuchsdurchführung
Dieser Versuch soll die Möglichkeit der Brennweitenbestimmung mit Hilfe der Linsengleichung bestätigen. Nachdem die Größen s und s' durch Messung bestimmt wurden, wird in die Linsengleichung eingesetzt.

$$\begin{aligned}\frac{1}{f} &= \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \\ \frac{1}{f} &= \frac{1}{36 \text{ cm}} + \frac{1}{24 \text{ cm}} \\ \frac{1}{f} &= \frac{2+3}{72 \text{ cm}} \\ f &= 14,4 \text{ cm}\end{aligned}$$

Zur Bestätigung wird nun die Brennweite im Versuchsaufbau nachgemessen. Man findet: $f = 14,5 \text{ cm}$.

- 17.4. Ergebnis
Durch Messung der Gegenstandsweite und der Bildweite kann nach Berechnung mit der Linsengleichung der Brennpunkt ermittelt werden.

- 17.5. Hinweise
Auf die o. a. Weise können auch die Brennweiten von Linsensystemen bestimmt werden. Die Brennweite von Konkavlinen läßt sich bestimmen, indem man sie mit einer Konvexlinse bekannter

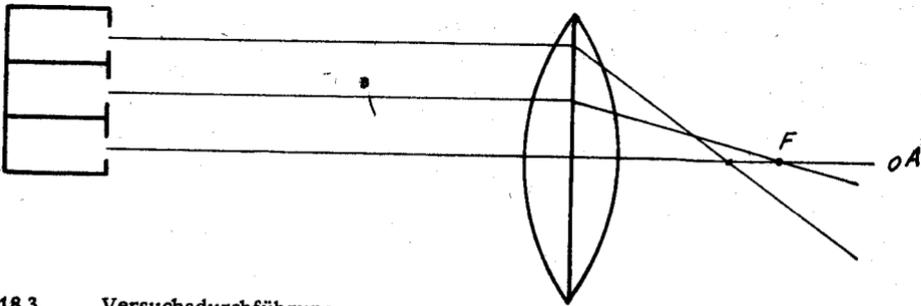
Brennweite zu einem System vereinigt. (Das System muß aber noch sammelnde Eigenschaften haben.) Wenn f die bekannte Brennweite der Konvexlinse ist und f_s die Brennweite des Systems, so ist die gesuchte Brennweite

$$f_x = \frac{f_s \cdot f}{f_s + f}$$

18. Linsenfehler (Offnungsfehler)

- 18.1. Aufbauteile: 3 Haftleuchten
 1 Linse konvex R 150
 2 Blenden, kurz

18.2. Versuchsaufbau



18.3. Versuchsdurchführung

Der Versuch zeigt die verschiedenen Schnittpunkte des Brennpunktstrahls mit der optischen Achse.

Mit den 3 Haftleuchten werden parallele Strahlen erzeugt. L_1 bildet die optische Achse. L_2 wird als Randstrahl definiert. Der Randstrahl wird mit der Blende ausgeblendet.

18.4. Ergebnis

Entgegen der bisherigen Annahme vereinigen sich nur achsnaher Parallelstrahlen in einem Brennpunkt. Durchlaufen parallele Strahlen die Linse am Rande, so rückt deren Brennpunkt näher an die Linse heran. Das bedeutet, die Brennweite wird kürzer. Konvexlinsen haben danach am Rande eine größere Brechkraft. In der Praxis führt diese Eigenschaft zu unscharfen Bildern. Deshalb werden die Randstrahlen ausgeblendet. Der Teil einer Linse, der vom Durchmesser einer Blendenöffnung frei bleibt, ist die Linsenöffnung; ist die Blendenöffnung zu groß, so daß Randstrahlen zur Brechung kommen, dann tritt der Öffnungsfehler auf.

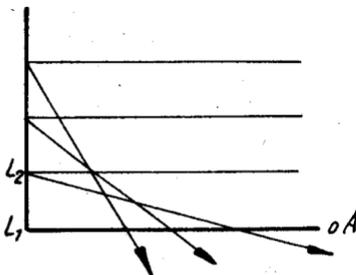
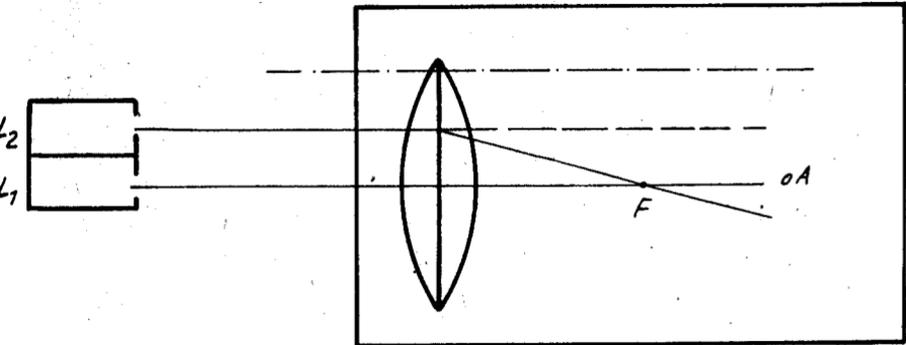
18.5. Hinweise

Die Ausblendung der Randstrahlen durch eine Blende ist als Korrekturmaßnahme anzusehen. Die Bedeutung der Blende bei Fotoobjektiven kann in diesem Zusammenhang diskutiert werden.

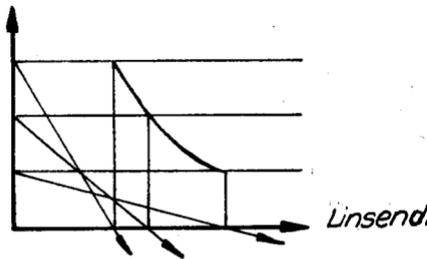
19. **Linsenfehler** (Darstellung der Aberrationskurve)

- 19.1. Aufbauteile: 2 Haftleuchten
1 Linse konvex R 150
1 Lineal 20 cm
1 Blatt Papier (Format A 4)

19.2. Versuchsaufbau



Brechkraft



20.3. Versuchsdurchführung

Zu Beginn wird die optische Achse gezeichnet und die Linse senkrecht aufgesetzt. Drei parallele Strahlen werden schräg von unten auf die Linse gerichtet. Die seitlichen Strahlen haben dann verschiedene Schnittpunkte. Dann verschiebt man die Parallelstrahlen in Richtung optische Achse. Dabei findet man eine Stellung, bei der die seitlichen Strahlen einen annähernd gemeinsamen Brennpunkt haben. Diese Stellung zeigt den für eine fehlerfreie Abbildung größtmöglichen Bildwinkel.

20.4. Ergebnis

Wird der mittlere Strahl eines Strahlenbündels als Hauptstrahl definiert, so sind die Schnittpunkte der parallel zum Hauptstrahl einfallenden Strahlen unregelmäßig auf dem Hauptstrahl verteilt. Dadurch kommt ein unscharfer Bildpunkt zustande.

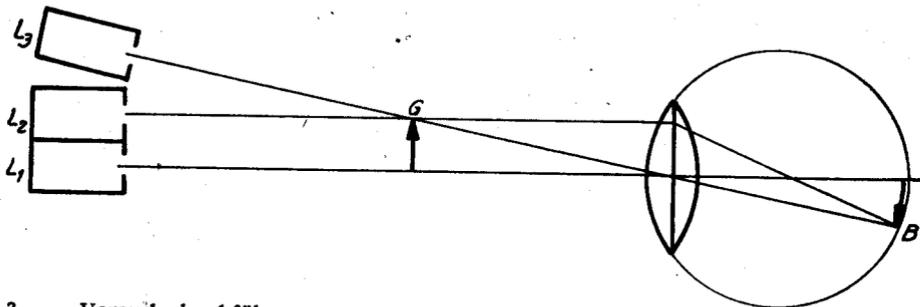
21. Linsenfehler (Das Auge)

21.1. Aufbauteile: 3 Haftleuchten

3 Linsen konvex R 100, R 125, R 150

2 Pfeile

21.2. Versuchsaufbau



21.3. Versuchsdurchführung

Auf die von L_1 gebildete optische Achse wird die Linse R 100 gesetzt. L_2 liefert den Parallelstrahl für den 3 cm hohen Gegenstand, der in 26 cm Gegenstandsweite befestigt wird. Erzeugt man nun mit L_3 einen Mittelpunktstrahl, so liegt die Lage des Bildes fest. Es wird eingezeichnet. Da mit der Linse R 100 ein normales Auge dargestellt werden soll, muß das Bild auf der Netzhaut liegen. Sie wird mit Kreide entsprechend Abb. 21.2. gezeichnet. Wird nun die

Linse R 100 gegen die mit R 150 ausgetauscht, so läßt sich zeigen, daß das Bild hinter der Netzhaut entsteht. Das Auge ist weitsichtig geworden. Dieser Augenfehler wird durch eine zusätzliche Linse – die Brille – korrigiert. Es wird die Linse R 125 in etwa 3 cm Abstand vor die Augenlinse gesetzt. Das Bild befindet sich nun wieder auf der Netzhaut. Anderenfalls muß der Abstand zwischen den Linsen um wenige Millimeter verändert werden.

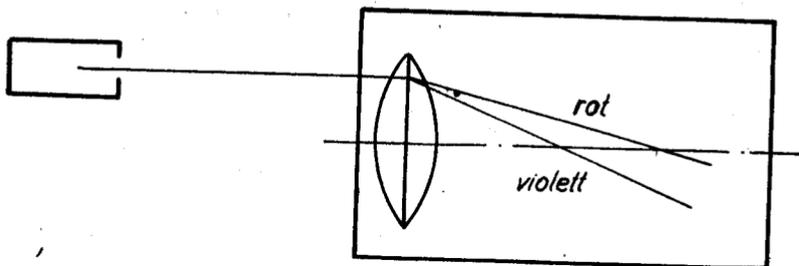
21.4. Ergebnis

Wird durch Veränderungen des Auges die Brennweite der Augenlinse zu lang, so wird das Bild auf der Netzhaut unscharf. Die Brennweite der Augenlinse wird durch eine zusätzliche Linse korrigiert. Fehler bei Augenlinsen werden durch Brillen korrigiert.

22. **Linsefehler** (chromatische Aberration)

- 22.1. Aufbauteile: 1 Haftleuchte
1 Linse konvex R 150
1 Blatt Papier, weiß, Format A 4

22.2. Versuchsaufbau



22.3. Versuchsdurchführung

Das A 4-Blatt wird entsprechend der Abb. 22.2. mit Magneten und mit der Linse befestigt. Ein Parallelstrahl läuft durch den Rand der Linse.

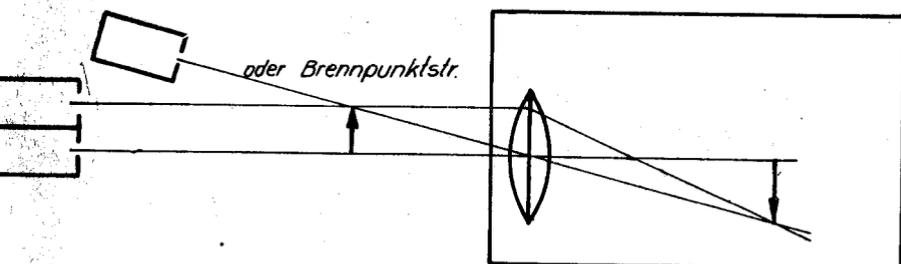
22.4. Ergebnis

Die große Brechkraft am Rand der Linse führt zur Aufspaltung des weißen Lichtes. Die einzelnen „Farben“ (Wellenlängen) werden unterschiedlich stark gebrochen. Das rote wird weniger als das blaue Licht gebrochen.

23. Die fotografische Kamera

- 23.1. Aufbauteile: 3 Haftpfeuchten
1 Linse konvex R 150
1 Blatt Papier, weiß, Format A 4

23.2. Versuchsaufbau



23.3. Versuchsdurchführung

Der Versuch soll die Funktion der Linse einer Fotokamera zeigen. Im Prinzip stellt Aufbau und Ablauf des Versuches eine Bildkonstruktion analog dem Versuch Nr. 14 dar. Für diesen Versuch muß man die ganze Tafelbreite ausnutzen. Die Darstellung ist als Modell anzusehen. Das Kameragehäuse wird durch ein A 4 Blatt dargestellt. Zuerst werden die Verhältnisse bei Nahaufnahmen aufgebaut. Bei einer Gegenstandsweite von etwa 34 cm wird die Bildweite etwa 27 cm. Das Bild liegt auf der Rückseite der Kamera, wo die Filmebene liegt. Das Bild wird scharf abgebildet. Nun wird der Aufbau für die Verhältnisse bei Fernaufnahmen variiert. Dazu wird der Gegenstand um 8 bis 10 cm zu den Leuchten hin verschoben und der Brennpunktstrahl neu eingerichtet. Das Bild entsteht nun etwa 3 cm vor der Filmebene. Das Bild würde unscharf auf den Film kommen. Um das Bild trotzdem auf die Filmebene zu bringen, wird die Linse (Objektiv) in Richtung Bild soweit verschoben, bis das Bild wieder in der Filmebene liegt.

23.4. Ergebnis

Soll bei unterschiedlichen Gegenstandsweiten ein scharfes Bild auf den Film gebracht werden, so muß die Stellung der Linse verändert werden.

23.5. Hinweise

Die Strahlengänge können auf dem Papier mit schwarzem Faserschreiber nachgezeichnet werden. Eine weitere Variation wäre die Darstellung einer Spiegelreflexkamera. Dazu wird der Planspiegel unter 45° zur optischen Achse auf den Brennpunkt gesetzt. Das Bild erscheint noch auf dem Papier.

24. Das astronomische Fernrohr

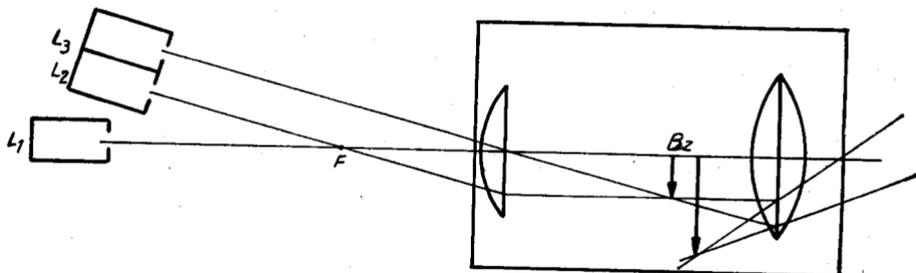
24.1. Aufbauteile: 3 Haftpfeuchten

1 Linse konvex R 125 (Objektiv)

1 Linse konvex R 100

1 Blatt Papier, weiß, Format A 4

24.2. Versuchsaufbau



24.3. Versuchsdurchführung

Der Versuch soll den prinzipiellen Aufbau und den Strahlenverlauf in einem astronomischen Fernrohr zeigen. Die Leuchten werden soweit wie möglich links befestigt. Die beiden Linsen halten gleichzeitig das Blatt Papier, welches das Fernrohr darstellt. Zwischen den Linsen richtet man 20 cm Abstand ein und achtet darauf, daß der Strahl von L_1 keine Brechung erfährt – die Linsen stehen dann senkrecht. Mit L_2 und L_3 werden Parallelstrahlen gerade so schräg auf die Objektivlinse gerichtet, daß einer durch den Brennpunkt und der andere durch den Mittelpunkt der Linse läuft. Im Schnittpunkt dieser Strahlen liegt das B_z Zwischenbild. Es befindet sich innerhalb der Brennweite der Okularlinse, die somit

als Lupe wirkt. Werden nun die von der Okularlinse gebrochenen Strahlen mit dem Speziallineal nach vorn verlängert, (mit Faserschreiber einzeichnen) so gibt der Schnittpunkt der verlängerten Strahlen die Lage des Bildes an.

24.4. Ergebnis

Die Objektivlinse (langer Brennweite) erzeugt von einem weit entfernten Gegenstand ein Zwischenbild. Dieses wird durch die Okularlinse, die als Lupe wirkt, betrachtet. Man erhält ein vergrößertes, umgekehrtes Bild.

25. Das Mikroskop

25.1. Aufbauteile: 3 Haftpfeuchten

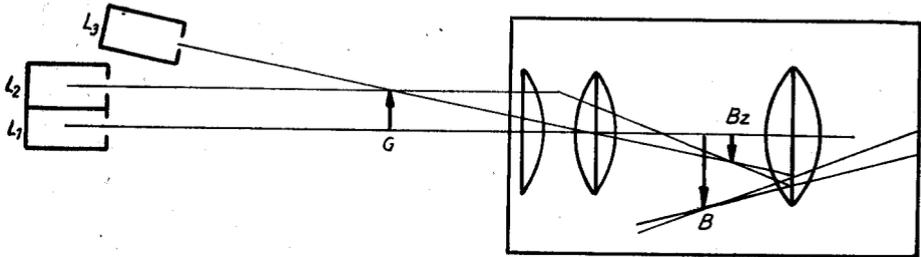
1 Linse konvex R 100 (Okular)

1 Linse konvex R 125

1 Linse konvex R 150 (Objektiv)

1 Blatt Papier, weiß, Format A 4

25.2. Versuchsaufbau



25.3. Versuchsdurchführung

Aufbau und Durchführung verläuft analog dem Versuch Nr. 24. Das Objektiv wird aber aus den Linsen $R=125$ und $R=150$ gebildet, was im Unterschied zum Fernrohr eine kurze Brennweite ergibt. Zur Abbildung des 3 cm großen Gegenstandes benutzt man am günstigsten Parallel- und Mittelpunktstrahl. Der Abstand der Linsen beträgt 7,5 cm zwischen den Objektivlinsen (Schnittweite) und 20 cm zwischen Objektiv und Okular (Schnittweite). Gegenstandsweite etwa 15 cm (innerhalb der doppelten Brennweite).

25.4. Ergebnis

Soll ein sehr kleiner Gegenstand abgebildet werden, so muß er sich innerhalb der doppelten Brennweite befinden. Das Objektiv hat eine kurze Brennweite. Die Betrachtung des Zwischenbildes erfolgt analog dem Fernrohr.

25.5. Hinweise

Durch den langen Strahlenverlauf und die mehrmalige Brechung nimmt die Sichtbarkeit des Strahlenganges hinter der Okularlinse stark ab. Von einer Erhöhung der Lampenspannung ist in dieser Situation abzuraten, da die Gefahr der Überlastung besteht und der Effekt nicht wesentlich besser wird. Ein dunklerer Raum bringt hier bessere Sichtbarkeit.

Karl-Marx-Stadt, 1971

VEB POLYTECHNIK