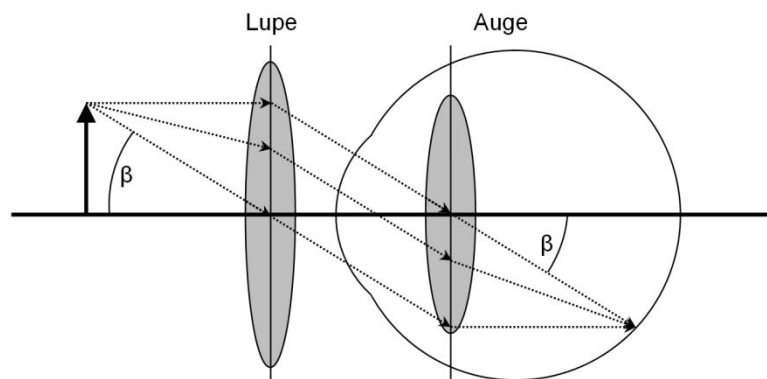


Geometrische Optik

Versuchsinhalt

Reflexion, Brechung, Dispersion, Eigenschaften von Linsen, reelles und virtuelles Bild, Auge, Lupe, Mikroskop



Experimente

Es wird die Brennweite verschiedener Linsen aus der Messung von Bild- und Gegenstandsweite für mehrere verschiedene Abbildungen bestimmt.

Schrittweise wird ein Mikroskop aufgebaut und dessen Objektiv-, Okular- und Gesamt-Vergrößerung bestimmt.

Mit einer Strichskala in der Zwischenbildebene zum Maßstabsvergleich werden einige geometrische Objekte vermessen.

Wichtige Anmerkung zu diesem Versuch:

Bei diesem Versuch wird ein **Direktbericht** angefertigt. Dies bedeutet, dass Sie den gesamten Bericht während des Versuchstags auf Ihrem Notebook fertigstellen.

Sie müssen den einführenden Teil bereits vor dem Versuchstag zuhause anfertigen und hier die Auswertung durchführen, sowie Beschreibungen und Diskussionen zu den einzelnen Versuchsteilen formulieren. Dazu ist es wichtig, dass Sie **ein Notebook zum Versuchstag mitbringen** und sich sehr intensiv auf den Versuch vorbereiten.

Achten Sie bei Ihrer Darstellung auf Strukturierung, Verständlichkeit und Vollständigkeit.

Inhalt

I) THEORIE	3
1. Einführung	3
2. Reflexion und Brechung	4
3. Dispersion	5
4. Ideale Linsen	6
Abbildungsgleichung	6
Linsenkombinationen	8
5. Linsenfehler	8
a) Sphärische Aberration	8
b) Chromatische Aberration	9
c) Astigmatismus	9
6. Optische Instrumente	9
a) Lupe	10
b) Mikroskop	10
II) VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	12
1. Brennweite einer Sammellinse	12
2. Linsenkombinationen	12
3. Aufbau und Charakterisierung eines Mikroskops	13
4. Bestimmung von Objektgrößen mit dem Mikroskop	14

Stichworte zur Vorbereitung

Eigenschaften der Lichtausbreitung in der geometrischen Optik
Reflexion, Brechung, Dispersion
Sammellinse, Zerstreuungslinse
Abbildungskonstruktion für Sammellinse, optische Achse, Hauptebene
Abbildungsgesetze, reelle und virtuelle Bilder
Linsenfehler
Abbildungen bei Lupe und Mikroskop

Literatur zum Versuch

- P.A. Tipler : „Physik“, Spektrum-Verlag
- H. Vogel: „Gerthsen Physik“, Springer
- W. Walcher : „Praktikum der Physik“, Teubner

I) Theorie

1. **Einführung**

Mit Hilfe der geometrischen Optik lassen sich viele optischen Phänomene in der Natur erklären, so zum Beispiel:

- Regenbogen als Dispersionserscheinung (siehe Abschnitt I.3)
- Fata Morgana, nichtgeradlinige Lichtausbreitung in einem Medium mit variablem Brechungsindex (Luftschichten unterschiedlicher Temperatur)
- die Brechung des Lichtes an der Wasseroberfläche wird vom Schützenfisch beim Treffen der Beute mit einem Wasserstrahl berücksichtigt .

Versteht man die Gesetze der geometrischen Optik, so ist man in der Lage, diese in der Technik anzuwenden. Als Beispiele seien

- Glasfasern zur Datenübermittlung (Totalreflexion)
- Lupe, Mikroskop, Fernrohr
- Fotoapparat

genannt.

Voraussetzung für die Anwendbarkeit der geometrischen Optik:

- Ausdehnung von Gegenständen im Strahlengang des Lichtes ist sehr viel größer als die Lichtwellenlänge (sonst müssen Beugungseffekte mit berücksichtigt werden)

Die Geometrische Optik baut auf folgenden Annahmen auf:

- Licht breitet sich in homogenen Medien geradlinig aus
- Lichtintensitäten überlagern sich ungestört
- Der Lichtweg ist umkehrbar
- Beschreibung des Lichtes an Grenzflächen homogener Medien durch das Brechungs- und Reflexionsgesetz

2. Reflexion und Brechung

Licht breitet sich beim Übergang von einem homogenen Medium in ein anderes nicht mehr geradlinig aus. Ein Teil des Lichtes dringt in das andere Medium ein (gebrochener Strahl), der restliche Teil wird an der Grenzfläche reflektiert (Abb. 1).

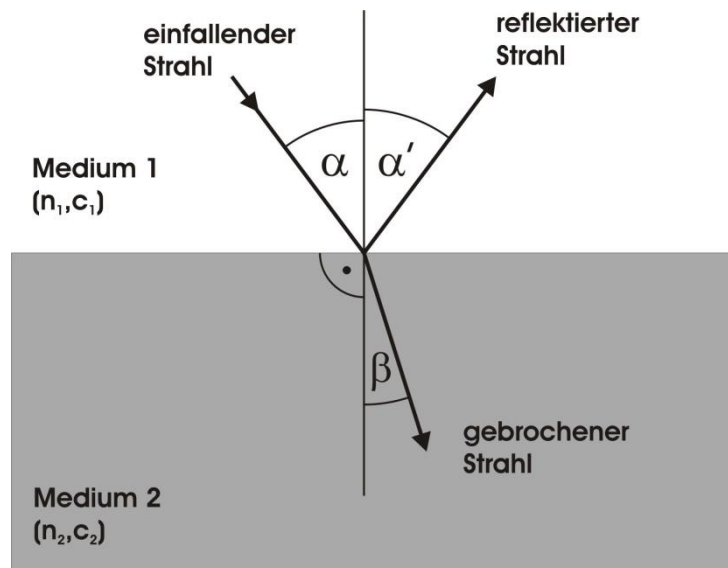


Abb. 1: Brechungs- und Reflexionsgesetz

Reflexionsgesetz : Einfallswinkel α = Reflexionswinkel α'

Snellius'sches Brechungsgesetz: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c_1}{c_2}$,

wobei $c_i = \frac{c_0}{n_i}$ die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes im Medium bedeutet, $i=1,2$.

n_i ist der ‚Brechungsindex‘ des Mediums i .

- * Wann wird der Strahl vom Lot weg, wann zum Lot hin gebrochen?
- * Welches Medium in Abb. 2 hat den größeren Brechungsindex ?

Totalreflexion

Dies ist ein Grenzfall des Brechungsgesetzes, der bei $n_2 < n_1$ auftreten kann, wenn $\beta = 90^\circ$ ist. Es gilt dann nach dem Brechungsgesetz $\sin \alpha = \frac{n_2}{n_1}$. Der Lichtstrahl kann ab diesem

Einfallswinkel α_T nicht mehr in das andere ('optisch dünnere') Medium übergehen und er wird vollständig an der Grenzfläche reflektiert (Abb. 2). Dieser Einfallswinkel wird als Grenzwinkel der Totalreflexion bezeichnet.

Die Totalreflexion wird in Glasfasern technisch ausgenutzt, da das Licht aufgrund der Totalreflexion am Rand der Faser nicht aus dieser heraus gelangen kann und deshalb in der Faser ‚geführt‘ wird.

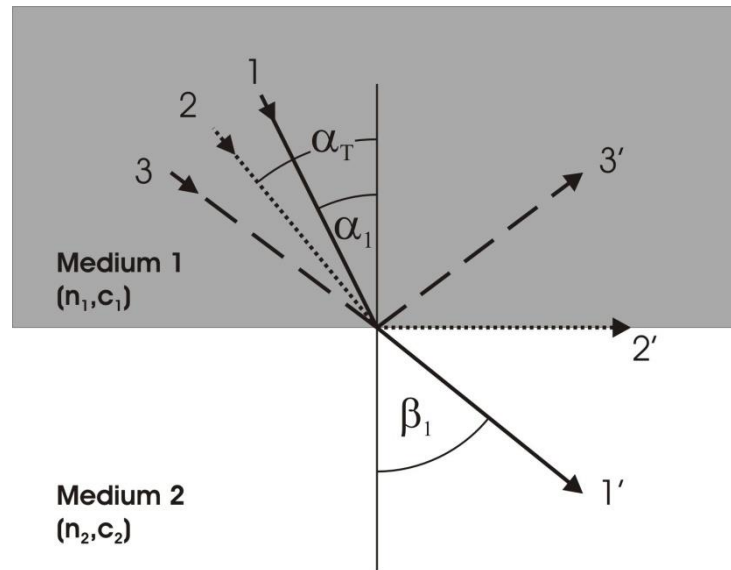


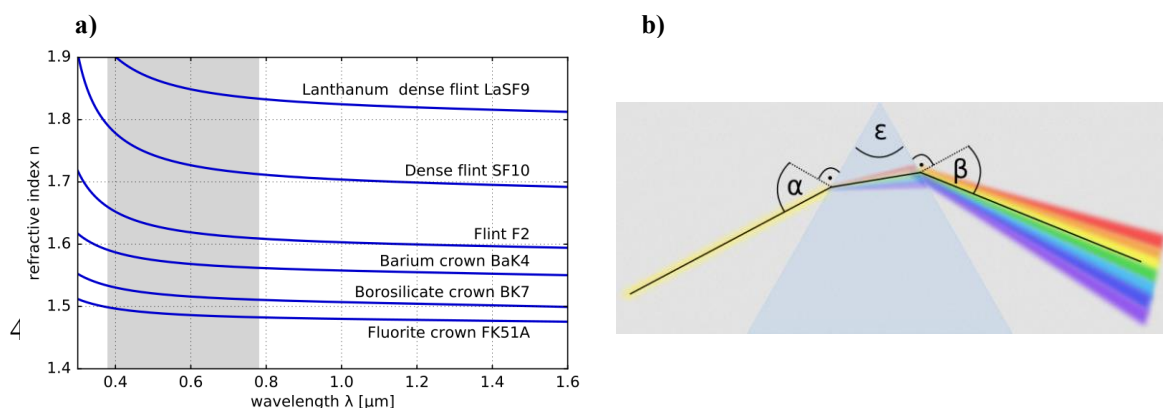
Abb. 2: Brechung und Totalreflexion

3. Dispersion

Breitet sich Licht in einem homogenen Medium aus, so hängt der Brechungsindex und somit auch die Ausbreitungsgeschwindigkeit von der Wellenlänge ab (Abb. 3a). Dieser Effekt ist mit Mitteln der geometrischen Optik nicht zu verstehen, aber er ist bei der Beschreibung von Linsen von großer Bedeutung.

Im Experiment macht sich die Dispersion auch dadurch bemerkbar, dass sich weißes Licht beim Durchgang durch ein Glasprisma in verschiedene Farben aufspaltet (Abb. 3b). Man spricht dann davon, dass das weiße Licht in sein Spektrum zerlegt wird.

Dieser Effekt tritt auch beim Regenbogen auf, wo das weiße Sonnenlicht durch Wassertropfchen in der Luft (die wie ein Prisma wirken) in sein Spektrum zerlegt wird.

Abb. 3: a) Dispersionskurven $n(\lambda)$ für verschiedene Glasarten

(Quelle: Geek3, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mplwp_dispersion_curves.svg, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

b) Ein Prisma wird verwendet um weißes Licht in seine Spektralanteile zu zerlegen

(Quelle: Prism-rainbow-black-2.svg: *Prism-rainbow-black.svg: *Prism-rainbow.svg: Suidroot derivative work: Sceptre (talk) Prism-rainbow.svg: Suidroot derivative work: Sceptre (talk) derivative work: Svebert, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prism-with-angles.svg>), „Prism-with-angles“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

4. Ideale Linsen

Als Linsen bezeichnet man in der Optik transparente Körper mit gekrümmten (meist sphärischen) Grenzflächen. Sie werden charakterisiert durch ihre Brennweite f , die bei Sammellinsen (konvexe Linsen) durch die Entfernung des Punkts gegeben ist, in dem einfallendes paralleles Licht nach der Linse gesammelt wird. Ist die Linsendicke klein im Vergleich zu den Radien der Begrenzungsflächen, so spricht man von **dünnen Linsen**.

Die Lichtbrechung an den beiden Grenzflächen der Linse wird im Modell der dünnen Linse durch das Einführen einer **Hauptebene** vereinfacht. Zur Abbildungskonstruktion wird der einfallende Strahl an dieser Hauptebene abgelenkt und nicht an den beiden Grenzflächen.

Um die Abbildung durch dünne Linsen zu beschreiben, benötigt man mindestens zwei prägnante Strahlen, die vom selben Punkt des Objekts ausgehen und sich in einem Bildpunkt wieder vereinigen (reelles Bild). Insgesamt drei prägnante Strahlen können einfach konstruiert werden (Abb. 4) :

1. Strahlen, die parallel zur **optischen Achse** einfallen, gehen nach der Linse durch deren Brennpunkt.
2. Strahlen, die durch den Linsenmittelpunkt (Schnittpunkt optische Achse - Hauptebene) gehen werden nicht gebrochen.
3. Strahlen die durch den vorderen Brennpunkt der Linse einfallen, verlaufen nach der Linse parallel zur optischen Achse.

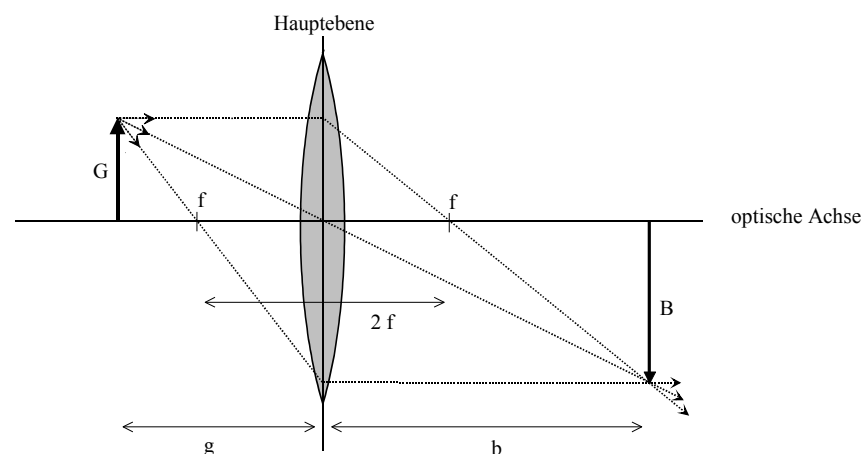


Abb. 4: Strahlengang durch eine konvexe Linse (reelles Bild)

Abbildungsgleichung

Aus einfachen geometrischen Überlegungen ergibt sich mit Hilfe des Strahlensatzes die "primitive Linsenformel", mit der sich aus der bekannten Brennweite der Linse (f) und der Position des Gegenstands ('Gegenstandsweite' g) die Position des Bildes ('Bildweite' b) vorhersagen lässt:

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

Mit Hilfe des Strahlensatzes kann auch eine einfache Beziehung zwischen der Größe von Bild ('Bildgröße' B) und Gegenstand ('Gegenstandsgröße' G) gefunden werden:

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad (= \text{Vergrößerung der reellen Abbildung})$$

Da der Lichtweg umkehrbar ist (erkennbar an der Symmetrie der Abbildungsgleichung) kann bei einer reellen Abbildung auch die Position von Bild und Gegenstand vertauscht werden. Somit wird aus einer ursprünglich vergrößernden Abbildung ($B/G > 1$) eine verkleinernde Abbildung. Für einen festen Abstand von Gegenstand und Bild ($g + b$) sind also zwei verschiedene reelle Abbildungen möglich. Eine Ausnahme bildet natürlich der Fall, wenn Gegenstandsweite und Bildweite gleich sind ($b = g$). Dieser Fall liegt vor, wenn der Abstand zwischen von Gegenstand und Bild gerade gleich der 4-fachen Brennweite der Linse entspricht und kann aufgrund dieser Bedingung zur Bestimmung der Brennweite verwendet werden.

Ist die Gegenstandsweite kleiner als die Brennweite, so kann nach der Linse kein reelles Bild entstehen, da nach der obigen Abbildungs-Konstruktion die Strahlen, die von einem Punkt des Gegenstands (Pfeilspitze) ausgehen sich in einem Bildpunkt treffen, sondern divergieren.

Dies entspricht der Situation, die auch bei einer Zerstreuungslinse (Konkavlinse) vorliegt (Abb. 5).

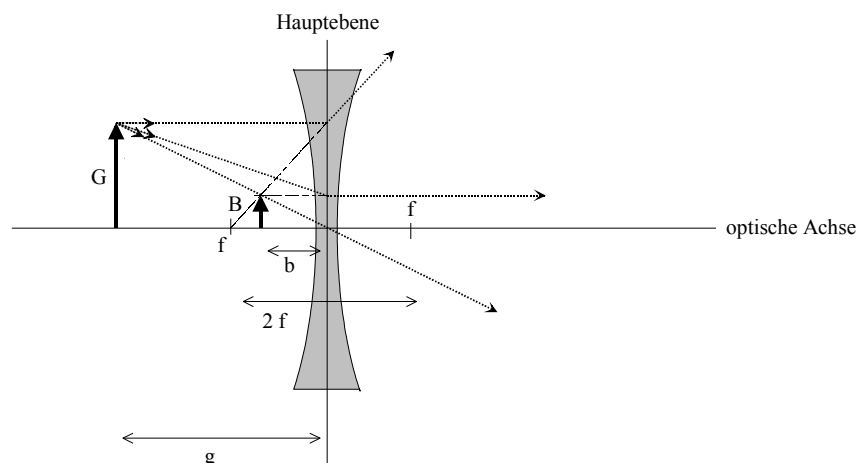


Abb. 5: Strahlengang durch eine konkave Linse (virtuelles Bild)

Zur Konstruktion des virtuellen Bildes einer Zerstreuungslinse benötigt man neben den Lichtstrahlen weitere Hilfslinien, die keinem tatsächlichen Lichtweg entsprechen. Ein achsenparallel einfallender Lichtstrahl wird so gebrochen, als ob er vom Brennpunkt vor der Linse ausgehen würde, d.h. man muss den ausfallenden Lichtstrahl durch eine Hilfslinie, die im vorderen Brennpunkt entsteht, konstruieren. Der Lichtstrahl, der vom selben Gegenstandspunkt ausgeht und auf den hinteren Brennpunkt gerichtet ist, verlässt die Linse achsenparallel. Die Strahlen, die von einem Punkt des Gegenstands ausgehen vereinigen sich hier nicht zu einem Bildpunkt (wie das bei einem reellen Bild der Fall ist), ein virtuelles Bild kann somit nicht auf einem Schirm abgebildet werden.

Der virtuelle Bildpunkt ist der Punkt, von dem die divergierenden Strahlen **scheinbar** ausgehen. Werden diese divergierenden Strahlen durch eine weitere Optik (zum Beispiel die unseres Auges) gesammelt, so kann dahinter (in unserem Fall auf der Netzhaut) sehr wohl ein reelles Bild entstehen.

* Unter welchen Bedingungen entsteht ein reelles Bild und wann ein virtuelles Bild ?

Linsenkombinationen

In der Praxis werden häufig anstelle einer einzelnen Linse Linsenkombinationen eingesetzt. Diese Linsenkombinationen lassen sich wie eine Linse behandeln, wenn deren Abstand klein im Vergleich zu ihren Brennweiten ist.

Es addieren sich die reziproken Brennweiten der beiden Linsen

$$\frac{1}{f_{\text{ges}}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

Werden zum Beispiel zwei Sammellinsen kombiniert, so ist die Brennweite f_{ges} kleiner als die Brennweiten f_1, f_2 jeder der beiden Linsen.

Bei Zerstreuungslinsen muss man berücksichtigen, dass die Brennweite negativ ist, bei Sammellinsen ist sie positiv.

Ist der Abstand der beiden Linsen nicht vernachlässigbar klein, so tritt zu der obigen Formel ein Korrekturterm, der den Linsenabstand d enthält, hinzu :

$$\frac{1}{f_{\text{ges}}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 \cdot f_2}$$

- * Ist die Gesamtbrennweite eines Systems aus Sammellinse und Zerstreuungslinse größer oder kleiner als die Brennweite der Sammellinse allein?
- * Wo werden in der Praxis Linsenkombinationen eingesetzt?

5. Linsenfehler

Reale Linsen zeigen Abweichungen von der Abbildungsgleichung. Man spricht dann von Linsenfehlern.

a) Sphärische Aberration

Nicht alle achsenparallel einfallenden Strahlen werden in einem Punkt vereinigt, da die kugelförmige Grenzfläche nur für achsennahe Strahlen die obige Abbildungsgleichung erfüllt (Abb. 6).

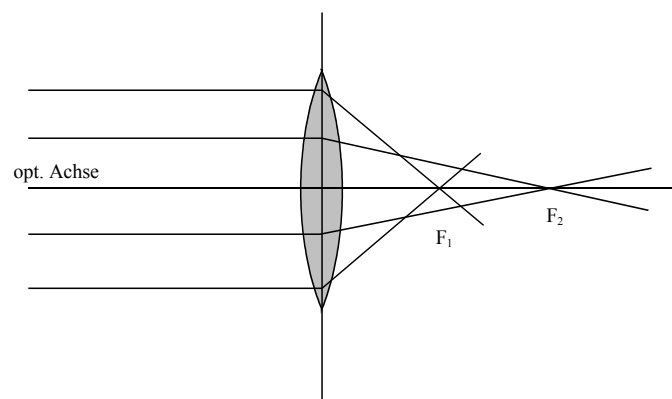


Abb. 6: Sphärische Aberration einer Sammellinse

b) Chromatische Aberration

Dies ist eine Folge der Dispersion. Aufgrund des unterschiedlichen Brechungsindex des Linsenmaterials für verschiedene Farben (Wellenlängen), erhält man für jede Farbe einen anderen Brennpunkt. Das Bild trägt daher einen farbigen Saum.

c) Astigmatismus

Dieser Fehler tritt bei nicht rotationssymmetrisch gekrümmten Linsen auf, oder wenn ein Lichtbündel schief durch eine sphärische Linse geht (Abb. 7). Dies führt dazu, dass die Linse zwei Brennlinien hat, welche zu den beiden Hauptkrümmungsrichtungen der Linse gehören, und keinen einzelnen Brennpunkt.

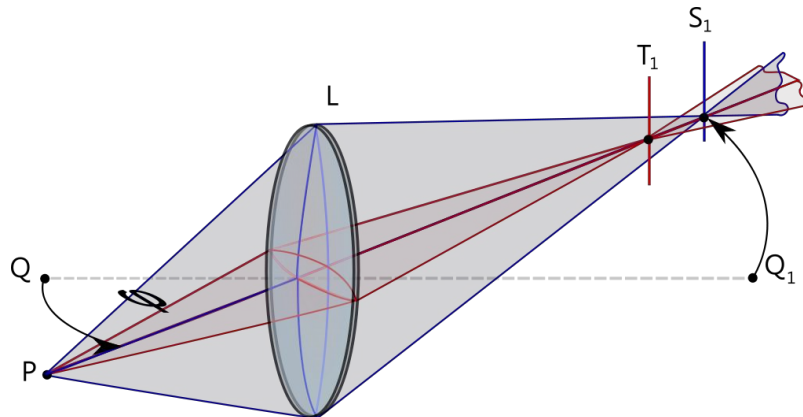


Abb. 7: Astigmatismus einer nicht rotationssymmetrisch gekrümmten Linse

(Source: I, Sebastian Kroch, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Astigmatism.svg>, „Astigmatismus“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

6. Optische Instrumente

Unter dem Sehwinkel α versteht man den Winkel, unter dem ein Gegenstand vom optischen Mittelpunkt des Auges aus gesehen wird (Abb. 8). Da die Bildgröße auf der Netzhaut mit dem Sehwinkel ansteigt, versucht man kleine Gegenstände möglichst nahe ans Auge zu führen. Dies ist aber unter Beibehaltung einer scharfen Abbildung nicht unbegrenzt möglich.

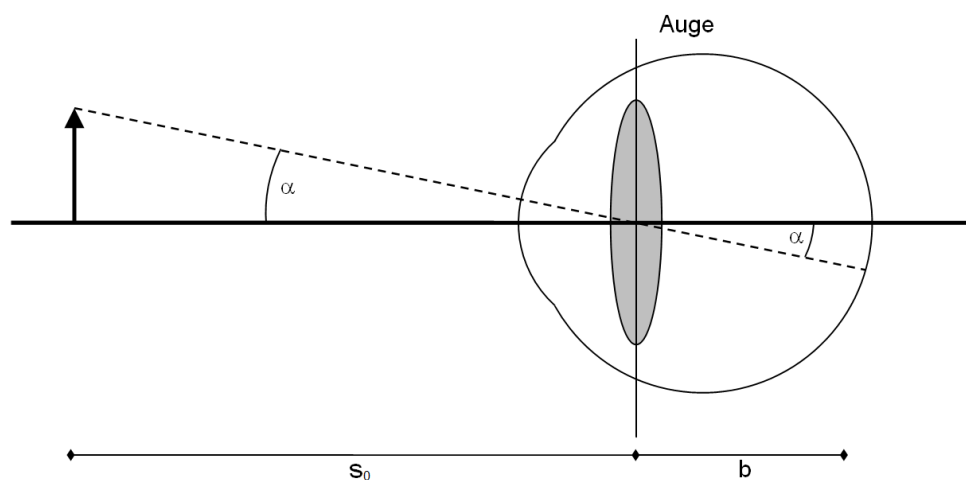


Abb. 8: Sehwinkel und Größe des Netzhautbildes

Daher werden optische Instrumente zur künstlichen Vergrößerung des Netzhautbildes eingesetzt. Da die Größe des Netzhautbildes proportional zum Tangens des Sehwinkels ist, ist die Vergrößerung v eines optischen Instrumentes gegeben durch:

$$v = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha}$$

α = Sehwinkel ohne Instrument

β = Sehwinkel mit Instrument

Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten diesen Sehwinkel zu vergrößern:

a) Lupe

Der Gegenstand wird in die Brennebene der Lupe gebracht, so dass Strahlen aus einem Gegenstandspunkt nach der Lupe ein paralleles Strahlenbündel bilden.

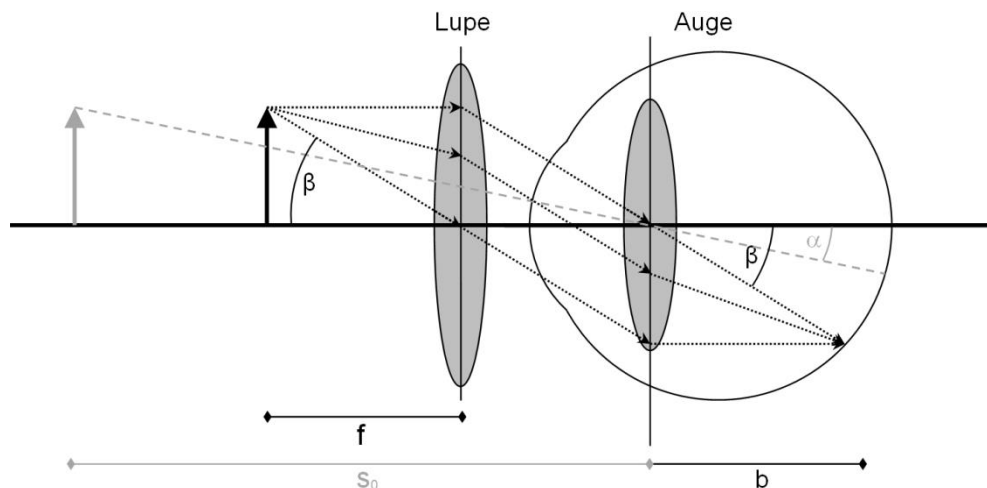


Abb. 9: Sehwinkel mit Lupe (β), mit Gegenstand in der Brennebene der Lupe im Vergleich zum Sehwinkel ohne Lupe (α), mit Gegenstand im Abstand s_0 .

Vergleicht man die Abbildungen mit und ohne Lupe, so erkennt man, dass bei der Abbildung mit Lupe das Bild auf der Netzhaut deutlich größer ist (Abb. 9). Dies ist eine Folge davon, dass jetzt das Objekt näher an das Auge herangeführt werden kann (obwohl das Auge auf unendlich akkommodiert).

Zur Definition der Vergrößerung der Lupe wird folgende Konvention getroffen: Das Auge akkommodiert relativ ermüdungsfrei, wenn der Gegenstand $s_0 = 25 \text{ cm}$ vom Auge entfernt ist (s_0 heißt deutliche Sehweite). Dieser Abstand wird bei der Lupe als Gegenstandsweite ohne Instrument verwendet.

Die Vergrößerung für die Lupe lautet somit: $v_L = \frac{s_0}{f}$

b) Mikroskop

Das Mikroskop ist ein zusammengesetztes optisches Instrument, das aus zwei Sammellinsen besteht: Objektiv und Okular (Abb. 10). Das Objektiv entwirft ein reelles Zwischenbild vom Gegenstand. Dieses reelle Zwischenbild wird mit der Okularlinse als Lupe betrachtet. Der Strahlengang verläuft daher hinter dem Okular zunächst parallel. Erst durch Betrachtung mit dem optischen Apparat des Auges wird daraus wieder ein reelles Bild auf der Netzhaut.

Die Vergrößerung des Mikroskops v_M lässt sich aus der Vergrößerung des Okulars $v_{Ok} = v_L$ und aus der Lateralvergrößerung des Objektivs $v_{Obj} = B/G$ berechnen. Es gilt

$$v_M = v_{Ok} \cdot v_{Obj} = \frac{s_0}{f_{Ok}} \cdot \frac{b_1}{g_1} = \frac{s_0}{f_{Ok}} \cdot \frac{t}{f_{Obj}},$$

wobei t als Tubuslänge (Abb. 10) des Mikroskops bezeichnet wird.

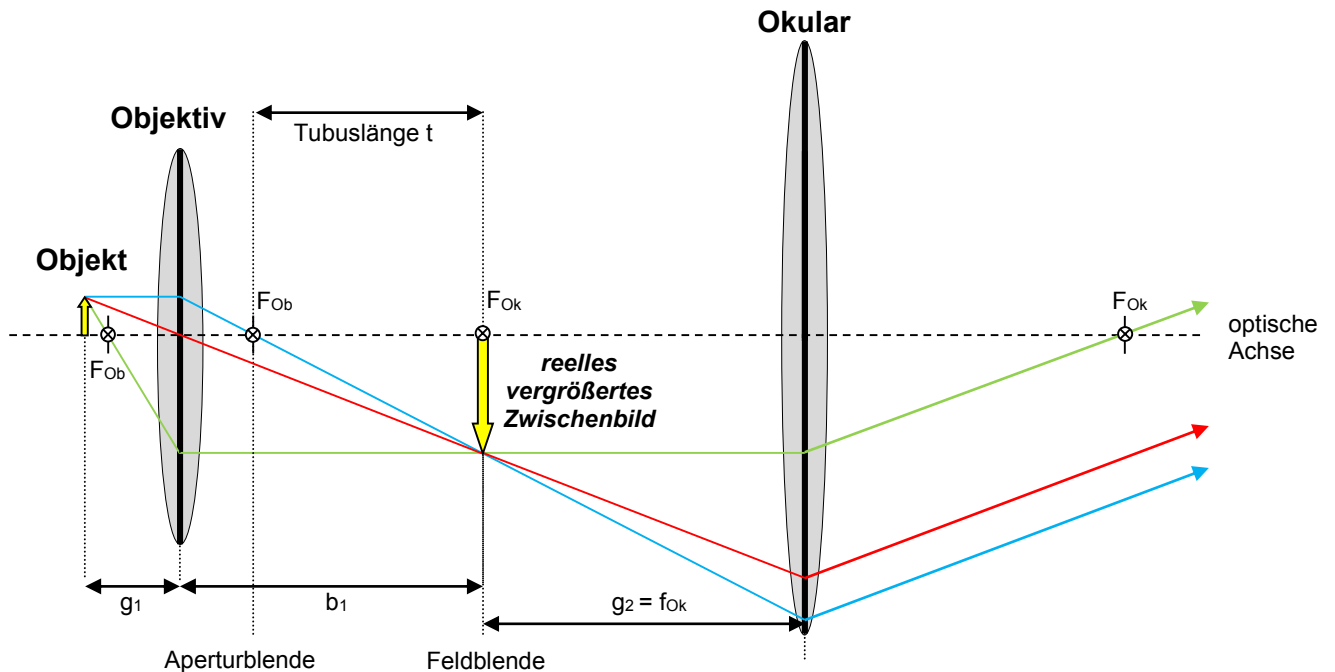


Abb. 10: Aufbau eines Mikroskops mit Abbildungs-Strahlengang

Auflösungsvermögen eines Mikroskops

Das Auflösungsvermögen ist durch den Abstand zweier Punkte bestimmt, die gerade noch getrennt gesehen werden können. Beim Mikroskop ist die Auflösungsgrenze durch die Wellenlänge des Lichts und die numerische Apertur ($n \cdot \sin \alpha$) des Objektivs gegeben (α = halber Öffnungswinkel des Objektivs) :

$$d = 0,61 \cdot \frac{\lambda}{n \cdot \sin \alpha}$$

Um höhere Auflösungen zu erreichen kann Licht kürzerer Wellenlänge verwendet werden, der Raum zwischen Gegenstand und Objektiv kann mit einer Flüssigkeit mit hohem Brechungsindex gefüllt werden (Wellenlänge im Medium : $\lambda' = \lambda/n$) und es sollte ein Objektiv mit möglichst großer Öffnung (numerische Apertur) verwendet werden.

Die kleinste Struktur, die mit Hilfe eines Licht-Mikroskops noch aufgelöst werden kann liegt dennoch in der Größenordnung der halben Wellenlänge der verwendeten Lichtquelle. Will man wesentlich höhere Auflösungen erreichen, so muss mit wesentlich kürzeren Wellenlängen gearbeitet werden. Bei der Elektronenmikroskopie etwa werden die Welleneigenschaften bewegter Elektronen zur Abbildung verwendet (Welle-Teilchen-Dualismus) und Auflösungen im Nanometer-Bereich erreicht.

Auch mit modernen optischen Verfahren kann man heute die klassische Auflösungsgrenze umgehen (Nobelpreis Chemie 2014) und das Mikroskop zum 'Nanoskop' weiterentwickeln.

II) Versuchsdurchführung

Schreiben Sie eine kurze Einleitung zum Versuch. Was ist die geometrische Optik? Was ist das Ziel des Versuches?

1. Brennweite einer Sammellinse

Beschreiben Sie jeweils kurz die Vorgehensweise. Notieren Sie alle Formeln, die für diesen Teil des Versuches benötigt werden und berechnen Sie den dazugehörigen Größtfehler.

- Schätzen Sie zunächst die Brennweite einer Sammellinse ab, indem Sie Licht einer weit entfernten Quelle (quasi-parallel) auf die Linse fallen lassen und die Entfernung zwischen Linse und Brennpunkt ermitteln. Dazu stellen Sie die Lichtquelle an die Tischkante und bilden den Brennpunkt der Linse auf dem Schirm am anderen Tische ab.
- Bestimmen Sie dann für diese dünne Linse die Brennweite unter Verwendung der 'Linsenformel'. Messen Sie dazu jeweils Gegenstands- und Bildweite, sowie die Gegenstandsgröße G und die jeweilige Bildgröße B , für 2 verschiedene Objekt-Bild-Abstände. Erzeugen Sie durch Verschieben der Linse jeweils eine vergrößerte und eine verkleinerte Abbildung, so dass Sie zur Berechnung der Brennweite insgesamt über 6 verschiedene Werte mitteln können.
Vergleichen Sie das Verhältnis B/G mit dem Quotienten von Bildweite und Gegenstandsweite b/g .
- Bestimmen Sie den Objekt-Bild-Abstand, für den die vergrößerte und die verkleinerte Abbildung zusammenfallen und ermitteln sie daraus ebenfalls die Brennweite der Linse mittels $4f = b + g$.
- Bestimmen Sie die Brennweite der Sammellinse auch mit dem Autokollimationsverfahren mit Hilfe eines Planspiegels.
Bei diesem Verfahren muss sich die Linse im Brennweitenabstand zum 'leuchtenden F' befinden, sodass nach der Linse jeder Punkt des Objekts ein paralleles Strahlenbündel erzeugt. Durch den Planspiegel wird jedes Strahlenbündel auf die Linse zurückgeworfen und ergibt wiederum einen Bildpunkt in der ursprünglichen Objektebene. Da dies nur dann funktioniert, wenn sich die Linse genau im Brennweitenabstand vom Objekt befindet, kann die Brennweite bestimmt werden.

Schreiben Sie eine kurze Diskussion über Ihre Ergebnisse und beurteilen Sie die Genauigkeit ihrer verschiedenen Brennweitenbestimmungen.

2. Linsenkombinationen

Notieren Sie alle Formeln, die für diesen Teil des Versuches wichtig sind.

Kombinieren Sie die obige Sammellinse mit einer Zerstreuungslinse.

- Schätzen Sie wieder wie oben zunächst die Gesamtbrennweite der Linsenkombination ab, und bestimmen Sie dann die Brennweite der Linsenkombination mit den bereits oben angewandten Verfahren.
- Berechnen Sie die Brennweite der Zerstreuungslinse aus der gemessenen Gesamtbrennweite und der bekannten Brennweite der Sammellinse.

Schreiben Sie auch hier eine kurze Diskussion über Ihre erhaltenen Ergebnisse.

3. **Aufbau und Charakterisierung eines Mikroskops**

Bauen Sie schrittweise ein Mikroskop auf, indem Sie zunächst mit einer Objektivlinse ($f_{\text{Obj}} = 16 \text{ mm}$) Ihr Objekt (eine Strichskala, Linienabstand $50 \mu\text{m}$) in eine Zwischenbildebene abbilden.

Fügen Sie dann eine Okularlinse ($f_{\text{Ok}} = 40 \text{ mm}$) hinzu (als Lupe, Abstand zur Zwischenbildebene $= f_{\text{Ok}}$), mit der Sie dieses Zwischenbild betrachten.

- Skizzieren Sie den Aufbau.
- Führen Sie jetzt eine Blende in den Strahlengang ein (siehe auch Skizze S. 11)
 - a) in der Zwischenbildebene (= Feldblende)
 - b) im Abstand f_{Obj} hinter der Objektivlinse (= Aperturblende)

Wie wirkt sich jeweils die Größe der Blendenöffnung auf Helligkeit und Bildausschnitt aus? Wozu können diese Blenden in der Praxis nützlich sein?

- Bestimmen Sie die Vergrößerung des Mikroskops

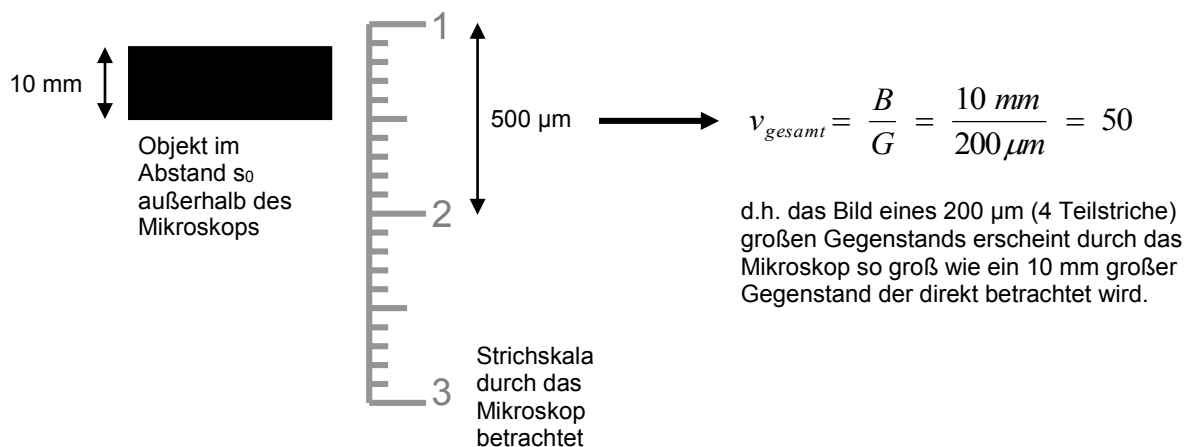
a) aus der Geometrie des Mikroskops :

$$v_m = \frac{t \cdot s_0}{f_{\text{Obj}} \cdot f_{\text{Ok}}}$$

b) durch Maßstabsvergleich mit und ohne Mikroskop : $v_m = v_{\text{Ges}} = \frac{B}{G}$

Betrachten Sie hierzu mit **einem Auge** die Strichskala durch das Mikroskop, mit dem **anderen Auge** ein Vergleichsobjekt bekannter Größe (z.B. 10 mm breiter Linsenträger), welches sich im Abstand s_0 außerhalb des Mikroskops befindet.

Beispiel:



c) aus der Kombination von Objektiv- und Okularvergrößerung:

Setzen Sie zur Bestimmung der **Objektivvergrößerung** v_{Obj} eine zweite Strichskala (ebenfalls $50 \mu\text{m}$) in die Zwischenbildebene des Mikroskops. Ermitteln Sie die Objektivvergrößerung aus dem Vergleich der beiden scharf abgebildeten Strichskalen. Kalibrieren Sie die Zwischenbildskala: welcher tatsächlichen Länge in der Objektebene entspricht ein Teilstrich der Zwischenbildskala?

Berechnen Sie mit Hilfe der Okularvergrößerung, die aus der Lupengeometrie (s_0/f_{Ok}) berechnet wird, die Gesamtvergrößerung des Mikroskops.

- Vergleichen Sie die drei Ergebnisse aus a), b) und c) für die Gesamtvergrößerung des Mikroskops.

4. **Bestimmung von Objektgrößen mit dem Mikroskop**

- Verwenden Sie nun die kalibrierte Strichskala in der Zwischenbildebene als ‚Lineal‘ zur Vermessung von Objekten.
- Bestimmen Sie die Größen einiger Objekte (u.a. das Liniengitter, welches im Versuch „Beugung“ untersucht wird).
- Wie dick ist ein Haar?
Schätzen Sie, suchen Sie online nach Informationen und messen Sie!