

Physikalisches A-Praktikum

Versuch 22

Das Mikroskop

Praktikanten:	Nils Kanning Steffen Klemer
Durchgeführt am:	14.02.2007
Gruppe:	6
Assistent:	Till Benter

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Theorie	4
2.1	Strahlenoptik	4
2.1.1	Brechungsgesetz	4
2.1.2	Linsen	4
2.1.3	Strahlengänge	5
2.2	Das Mikroskop	5
2.3	Das Kepler-Fernrohr	6
2.4	Auflösungsvermögen	7
3	Durchführung	8
3.1	Messungen am Zeiss-Mikroskop	8
3.1.1	Gesamtvergrößerung des Mikroskops	8
3.1.2	Objektivvergrößerung bei festem Abstand zum Gegenstand .	8
3.1.3	Objektivvergrößerung bei festem Abstand zur Mattscheibe .	9
3.1.4	Dicke eines Haares	9
3.2	Messungen an der optischen Schiene	9
3.2.1	Auflösungsvermögen des Mikroskops	9
3.2.2	Auflösungsvermögen mit Plexiglasstab	10
4	Auswertung	10
4.1	Messungen am Zeiss-Mikroskop	10
4.1.1	Strahlengang	10
4.1.2	Okularvergrößerung	10
4.1.3	Brennweite des Objektivs	11
4.1.4	Dicke eines Haares	12
4.2	Messungen an der optischen Schiene	12
4.2.1	Auflösungsvermögen des Mikroskops	12
4.2.2	Auflösungsvermögen mit Plexiglasstab	13
5	Einordnung der Ergebnisse	14

1 Einleitung

Die Wissenschaft der letzten Jahrhunderte zeichnet vor allem dadurch aus, dass sie uns Einblicke in immer kleinere und immer größere Dimensionen ermöglichte. So betrachten wir heute einzelne Atome, simulieren aber auch ganze Galaxienhaufen. Einen wesentlichen Beitrag dazu hatten das 1611 von Johannes Kepler entwickelte Teleskop, aber auch das Mikroskop aus dem Jahr 1673. Dieses wurde erstmals von Anton van Leeuwenhoek gebaut und ist Thema dieses Versuchs.

2 Theorie

2.1 Strahlenoptik

2.1.1 Brechungsgesetz

Als *Guiding equation* gilt das SNELLIUSSche Brechungsgesetz. Es beinhaltet eine Relation zwischen den Brechzahlen verschiedener optischer Medien und den zugehörigen Brechungswinkeln bei der gradlinigen Ausbreitung des Lichts an den Phasengrenzen der Medien:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

Die Winkel werden dabei zum Einfallslot gemessen. Der Brechungsindex ist eine Körperkonstante und bezeichnet das Verhältnis der spezifischen Lichtgeschwindigkeit und der Vakuumlichtgeschwindigkeit:

$$n_i = \frac{c_0}{c_i}.$$

Das Gesetz geht aus den Welleneigenschaften des Lichtes hervor. Eine Herleitung findet sich in *Protokoll 25 - Fresnelsche Formeln*.

2.1.2 Linsen

Mit Hilfe des Brechungsgesetzes können wir nun einfache Abbildungen betrachten. Als elementares Element stellt sich die *Linse* heraus, ein optisches Bauelement mit 2 lichtbrechenden Oberflächen. Gewöhnlich ist mindestens eine Seite *konkav* oder *konvex* gekrümmt.

Man unterscheidet nun 2 Hauptarten (siehe Abb. 1):

Sammellinsen Dies sind Linsen mit zwei konvexen oder einer konvexen und einer flachen Seite. Parallel einfallende Strahlen werden in einem Punkt, dem *Brennpunkt* f oder *Fokus* gebündelt.

Zerstreuungslinsen sind analog mit konkaven Flächen bestückt. Hier ist der Brennpunkt der Punkt, von dem auslaufendes Licht eines Bündels einfallender Parallelstrahlen auszugehen scheint.

Der Abstand des Brennpunktes vom Mittelpunkt der Linse heißt *Brennweite*, sein Kehrwert *Brechkraft*.

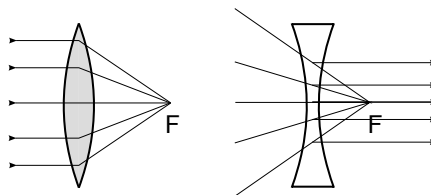


Abbildung 1: Strahlengang einer Sammel- und einer Zerstreuungslinse

2.1.3 Strahlengänge

Betrachten wir nun die Abbildung eines Gegenstandes durch eine Sammellinse, so können wir 3 Fälle unterscheiden:

1. Mit einer Gegenstandsweite kleiner als der Brennweite der Linse, ergibt sich ein aufrechtes, vergrößertes und virtuelles Bild, wobei sich virtuell auf das scheinbare Bild hinter der Linse bezieht. Dies ist der Normalfall bei einer Lupe.
2. Mit einer Gegenstandsweite größer als der Brennweite, ergibt sich ein spiegelverkehrtes, reelles Bild. Innerhalb der doppelten Brennweite ergibt sich noch eine Vergrößerung, außerhalb eine Verkleinerung.
3. Steht der Gegenstand direkt auf der Brennweite, so steht das Bild im Unendlichen.

Für eine Abschätzung der Vergrößerung, definiert man eine *Bezugsweite* $s_0 = 25\text{cm}$, dem maximalen Abstand des scharfen Sehens eines Menschen. Im Fall 3 ist so die Vergrößerung dann über das Verhältnis der Tangenswerte der Sehwinkel definiert:

$$V = \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_{25}} = \frac{\frac{G}{f}}{\frac{G}{s_0}} = \frac{s_0}{f}, \quad (2)$$

mit der Höhe des Gegenstandes G .

Für dünne Linsen kann mit Hilfe der Fresnel- und Fraunhofernäherung die *Linsengleichung*

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad (3)$$

mit der Bildweite b und der Gegenstandsweite g hergeleitet werden. Ebenfalls erhält man ein Verhältnis zwischen der Bild- und Gegenstandsgröße B und G , sowie der Bild- und Gegenstandsweite:

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g}. \quad (4)$$

Dieses Verhältnis bezeichnet man auch als *Abbildungsmaßstab*.

2.2 Das Mikroskop

Legt man nun 2 Linsen hintereinander, so ergänzen sich ihre Eigenschaften. Das Mikroskop besteht aus 2 Sammellinsen (Abb. 2). Hierbei erzeugt die erste ein reelles Zwischenbild, welches die zweite dann als Lupe vergrößert. Die dem Objekt zugewandte Linse wird als Objektiv, die andere als Okular bezeichnet.

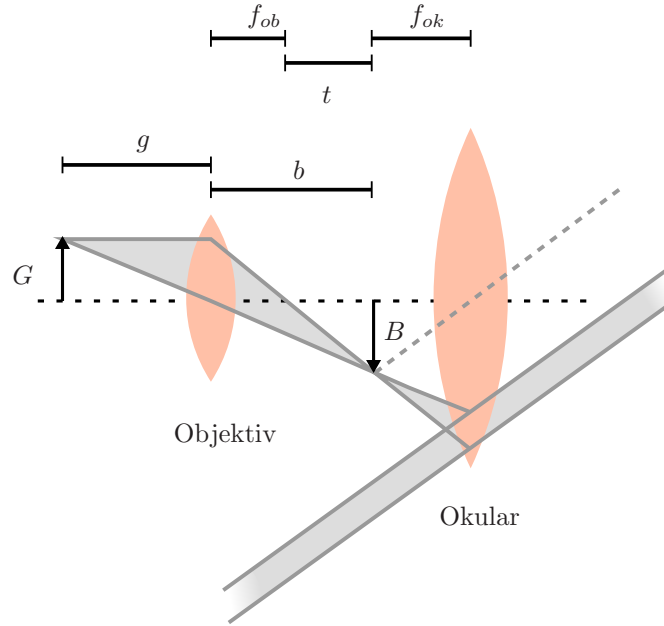


Abbildung 2: Schema eines Mikroskops

Die Vergrößerung erhalten wir als Produkt der Einzelvergrößerungen. Als Okularvergrößerung ergibt sich die einer Lupe:

$$V_{ok} = \frac{s_0}{f_{ok}}$$

Als Vergrößerung des Objektivs verwenden wir das Verhältnis aus Zwischenbildgröße B und Gegenstandsgröße G :

$$V_{ob} = -\frac{B}{G} \quad (5)$$

Das negative Vorzeichen verdeutlicht das gespiegelte Bild. Aus Abb. 2 ergibt sich geometrisch die Beziehung:

$$\frac{t}{B} = \frac{f_{ob}}{G} \quad (6)$$

Damit folgt:

$$V_{ob} = -\frac{B}{G} = -\frac{t}{f_{ob}} \quad (7)$$

Die Gesamtvergrößerung des Mikroskops ist demzufolge näherungsweise

$$V_{Mikro} = -\frac{t \cdot s_0}{f_{ob} \cdot f_{ok}}. \quad (8)$$

2.3 Das Kepler-Fernrohr

Sehr ähnlich zum Mikroskop können wir ein Teleskop aufbauen. Hierbei müssen wir aber beachten, dass die betrachteten Objekte gewöhnlich sehr weit weg sind, und

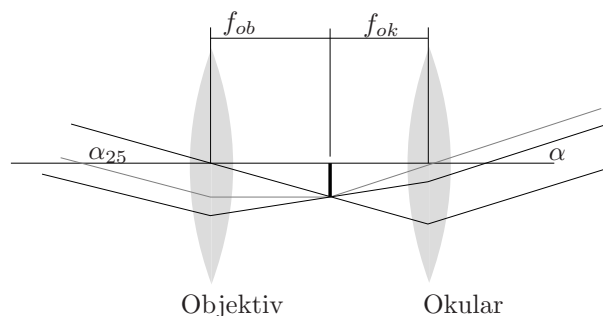


Abbildung 3: Strahlengang am Linsenfernrohr

die Lichtstrahlen damit praktisch parallel eintreffen. Um trotzdem eine hohe Vergrößerung zu erreichen, legt man nun die Brennpunkte beider Linsen aufeinander, verringert also t auf 0. Schematisch ist dies in Abb. 3 dargestellt.

Die Vergrößerung ergibt sich durch

$$V_{Fernr} = \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_{25}} = \frac{\frac{B}{f_{ok}}}{\frac{-B}{f_{ob}}} = -\frac{f_{ob}}{f_{ok}}.$$

Sie kann also leicht als Verhältnis der beiden Brennweiten ausgedrückt werden. Damit sind diesem Teleskoptyp aber direkt Grenzen der Vergrößerung vorgegeben, kann doch die Brennweite nicht beliebig verlängert bzw. verkürzt werden.

Darum werden heute meist Spiegelteleskope, wie das von NEWTON mit einem kleinen Spiegel im Strahlengang verwendet.

2.4 Auflösungsvermögen

Wir wollen nun ein Maß für die Güte eines Mikroskops einführen. Da die Vergrößerung eine grobe und ungenaue Eigenschaft ist, definiert man zusätzlich das *Auflösungsvermögen* als den kleinsten Abstand zweier Punkte, der noch dargestellt werden kann. Um dies universell und standardisiert messen zu können, verwendet man das Beugungsmuster eines Gitters und die *RAYLEIGHsche Grenzlage*. Diese besagt, dass man zwei Objekte unterscheiden kann, falls das nullte Beugungsmaximum im ersten Beugungsminimum des zweiten liegt.

Nun können wir das Auflösungsvermögen herleiten. Dafür betrachten wir ein mit der Wellenlänge λ monochromatisch beleuchtetes Gitter der Gitterkonstanten a . Das erste Maximum erscheine unter dem Winkel φ . Dann ergibt sich¹:

$$\sin \varphi = \frac{\lambda}{n \cdot a},$$

mit dem Brechungsindex n des Mediums zwischen Objektiv und Gegenstand. Um ein Ausblenden dieses Maximums zu verhindern, muss der Öffnungswinkel α des Objektivs größer als das zugehörige φ sein. Somit erhalten wir für den kleinsten noch auflösbaren Abstand:

$$a_{min} = \frac{\lambda}{n \sin \alpha} = \frac{\lambda}{N}$$

¹Siehe auch *Protokoll 26 - Laserlicht*

Die Konstante $N = n \sin \alpha$ wird hierbei *Numerische Apertur* genannt. Das α ist der Winkel, zwischen der optischen Achse und dem Rand des Lichtkegels, der gerade noch das Objektiv erreicht. Das Auflösungsvermögen definieren wir nun als Kehrwert von a_{min} :

$$A = \frac{N}{\lambda}.$$

Es wächst also proportional mit der Frequenz des Lichtes. Dieses setzt durch den fixen Wellenlängenbereich von 400-800nm eine Grenze des Auflösungsvermögens bei ca. $1,25 \cdot 10^7 m^{-1}$. Unabhängig von der Größe und Güte der Linsen kann N maximal so groß wie die Brechzahl n des Mediums sein. Für größere Aperturen verwendet man daher zum Teil stark brechende Flüssigkeiten, wie Zedernöl, im Raum zwischen Objekt und Objektiv.

3 Durchführung

3.1 Messungen am Zeiss-Mikroskop

3.1.1 Gesamtvergrößerung des Mikroskops

An der Versuchsanordnung befinden sich zwei verschiedene Okulare. Die nun beschriebene Messung wird nacheinander für beide Okulare durchgeführt.

Zunächst wird das Objektmikrometer auf dem Objektisch eingespannt und die Skala des Mikrometers fokussiert. Es ist darauf zu achten, dass wirklich die Skala des Objektmikrometers fokussiert wird, da eines der Okulare ebenfalls eine Skala – ein Okularmikrometer – enthält. Dann wird neben dem Objektisch ein Vergleichsmaßstab platziert.

Man schaut nun mit einem Auge durch das Okular und mit dem anderen direkt auf den Vergleichsmaßstab. Die Längen zweier gleich groß erscheinender Skalenabschnitte werden notiert. Man misst also die Gegenstands- und die Bildgröße.

Diese Messung wird dreimal wiederholt und die Skala des Objektmikrometers vor jeder Messung erneut fokussiert.

3.1.2 Objektivvergrößerung bei festem Abstand zum Gegenstand

Zur Messung der Objektivvergrößerung wird zunächst das Objektmikrometer mit einem der beiden Okulare fokussiert. Nun wird der Tubus mit dem Okular durch einen Tubus, der an der Stelle des Okulars lediglich eine Mattscheibe aufweist, ersetzt. Die Höhe der Mattscheibe kann verstellt werden und wird nun so reguliert, dass die Skala des Objektmikrometers scharf zu erkennen ist. Dabei ist darauf zu achten, dass die Position des Objektives nicht verändert wird.

Die Gegenstandsgröße eines festen Skalenteils des Objektmikrometers wird notiert und die Größe dieses Skalenteils auf der Mattscheibe mit einem Messschieber vermessen. Diese Messung wird dreimal wiederholt.

Anschließend wird das Objektmikrometer mit dem anderen Okular erneut fokussiert. Der Tubus mit dem Okular wird dann wieder durch jenen mit der Mattscheibe ersetzt und die oben beschriebene Messung auch für die Fokussierung auf dieses Okular durchgeführt.

3.1.3 Objektivvergrößerung bei festem Abstand zur Mattscheibe

Vor dieser Messung wird die runde Mattscheibe aus dem höhenverstellbaren Tubus entfernt. Dann wird dieser Tubus in das Mikroskop installiert. Auf dem Objektisch befindet sich immer noch das Objektmikrometer.

Zunächst wird die Höhe des Tubus minimal eingestellt und auf dem Tubus eine rechteckige Mattscheibe platziert. Diesmal wird nun ausschließlich der Abstand zwischen Objektmikrometer und Objektiv variiert um das Bild auf der Mattscheibe scharf zu stellen. Ist dies geschehen werden wie im vorherigen Durchführungsschritt die Gegenstandsgröße und die Bildgröße auf der Mattscheibe notiert. Diese Messung wird dreimal wiederholt. Zwischen jeder Messung wird das Bild neu fokussiert.

Jetzt wird die Höhe des Tubus auf die maximale Position eingestellt. Der Höhenunterschied zur zuvor verwendeten minimalen Position wird bestimmt. Das Bild wird erneut ausschließlich über den Abstand zwischen Objektmikrometer und Objektiv scharf gestellt und die für die andere Tubushöhe beschriebene Messung wird auch für diese Höhe dreimal durchgeführt.

3.1.4 Dicke eines Haares

Es wird das bereits am Anfang erwähnte Okular mit Okularmikrometer installiert. Die Skala dieses Okularmikrometers wird mit Hilfe des Objektmikrometers geeicht. Dazu wird das Objektmikrometer fokussiert. Eine feste Anzahl von Skalenteilen des Okularmikrometers wird zusammen mit der deckungsgleichen Länge auf dem Objektmikrometer notiert.

Nun kann das Objektmikrometer durch ein Haar ausgetauscht werden. Dieses wird fokussiert und die Dicke in Skalenteilen des Okularmikrometers einige Male mit vorheriger erneuter Fokussierung bestimmt.

3.2 Messungen an der optischen Schiene

Während der Gesamten Messung an der optischen Schiene wird diese von hinten mit einer Lampe beleuchtet. Vor dieser befindet sich ein nur für Licht der Wellenlänge $\lambda = 650 \text{ nm}$ durchlässiger Filter.

3.2.1 Auflösungsvermögen des Mikroskops

Auf der optischen Schiene wird direkt vor dem Objektiv des Mikroskops ein Spalt installiert. Die Breite des Spalts ist verstellbar und der Spalt ist zunächst komplett geöffnet. Weiter wird ein Glasmaßstab auf die Schiene gestellt. Dieser wird so fokussiert, dass die Skala scharf zu erkennen ist.

Dann wird die Blende so weit geschlossen, dass die Skalenteile des Glasmaßstabes gerade nicht mehr scharf aufgelöst wurden. Den Abstand zwischen Blende und Glasmaßstab haben wir notiert.

Nun wird der Glasmaßstab wieder entfernt und die Blende so weit verschoben, bis deren Ränder scharf abgebildet werden. In dieser Situation haben wir die Breite des Abbildes des Spalts mit Hilfe des Mikrometertriebes, auf dem das Mikroskop installiert ist, gemessen. Damit hieraus später die tatsächliche Spaltbreite berechnet werden kann, wurde auch die, auf dem Mikroskop vermerkte, Vergrößerung notiert.

3.2.2 Auflösungsvermögen mit Plexiglasstab

Auf der optischen Schiene befindet sich nun lediglich das Mikroskop. Zusätzlich wird nun ein Plexiglasstab installiert. Das Mikroskop wird auf die Vorderseite des Stabes fokussiert. Nun wird das Okular durch eine Lochblende ersetzt. Deren Fassung ist so geformt, dass die Blende sich auf der Ebene des Zwischenbildes befindet. Nun kann man beim Blick durch die Lochblende eine auf der Rückseite des Plexiglasstabes eingeritzte Skala erkennen. Die Anzahl der zu erkennenden Linien auf der Skala wird notiert.

Abschließend wird noch die Länge des Plexiglasstabes vermessen.

4 Auswertung

4.1 Messungen am Zeiss-Mikroskop

4.1.1 Strahlengang

Der Strahlengang bei dieser Messung entspricht dem im Theorieteil in Abb. 2 gezeigten. Bei den Messungen ohne Okular ist lediglich der Teil des Strahlengangs bis zum reellen Zwischenbild, welches im Theorieteil mit B bezeichnet wird, relevant.

4.1.2 Okularvergrößerung

Zur Bestimmung der Okularvergrößerung verwenden wir zunächst die Messwerte aus der in Abschnitt 3.1.1 beschriebenen Messung zur Bestimmung der Gesamtvergrößerung V_M des Mikroskops. Diese erhalten wird durch Division der gemessenen Bildgröße B' und der Gegenstandsgröße G :

$$V_M = \frac{B'}{G}$$

Für die beiden Okulare A und B erhalten wir so:

$$\begin{aligned} V_{M,A} &= 80(4) \\ V_{M,B} &= 112(4) \end{aligned}$$

Aus der, im Abschnitt 3.1.2 beschriebenen, Messung berechnen wir nun die Objektvergrößerung V_{Obj} . Hierzu teilen wir die Größe des Zwischenbildes B auf der Mattscheibe durch die Gegenstandsgröße G :

$$V_{Obj} = \frac{B}{G}$$

Wir erhalten so:

$$\begin{aligned} V_{Obj,A} &= 10,30(10) \\ V_{Obj,B} &= 10,25(10) \end{aligned}$$

Aus diesen beiden Werten können wir nun gemäß der in Gl. 8 mündenden Herleitung auch die Okularvergrößerung V_{Ok} bestimmen. Es gilt:

$$V_M = V_{Obj} V_{Ok}$$

Somit erhalten wir die gewünschte Größe als:

$$V_{\text{Ok}} = \frac{V_{\text{M}}}{V_{\text{Obj}}}$$

Dies ergibt die Werte:

$$\begin{aligned} V_{\text{Ok,A}} &= 7,7(4) \\ V_{\text{Ok,B}} &= 10,9(4) \end{aligned}$$

4.1.3 Brennweite des Objektives

Zunächst berechnen wir die Vergrößerung der in Abschnitt 3.1.3 beschriebenen Anordnung. Wir verwenden hierzu die notierten Gegenstandsgrößen G und Bildgrößen B :

$$V = \frac{B}{G}$$

Für die beiden Positionen der Mattscheibe ergibt dies:

$$\begin{aligned} V_{\text{unten}} &= 9,6(3) \\ V_{\text{oben}} &= 13,7(3) \end{aligned}$$

Gemäß Gl. 4 können wir für die Vergrößerung auch schreiben:

$$V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$

Damit gilt:

$$V_{\text{oben}} - V_{\text{unten}} = \frac{b_{\text{oben}}}{g_{\text{oben}}} - \frac{b_{\text{unten}}}{g_{\text{unten}}}$$

Aus der Linsengleichung (Gl. 3) erhalten wir:

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

Damit wird die obige Beziehung zu:

$$V_{\text{oben}} - V_{\text{unten}} = \frac{b_{\text{oben}} - b_{\text{unten}}}{f}$$

Dabei ist $t = b_{\text{oben}} - b_{\text{unten}}$ gerade die von uns gemessene Höhendifferenz der beiden Mattscheibenpositionen. Damit können wir schließlich die Brennweite f des Objektives bestimmen:

$$f = \frac{t}{V_{\text{oben}} - V_{\text{unten}}}$$

Wir erhalten den Wert:

$$f = 0,016(2) \text{ m}$$

4.1.4 Dicke eines Haares

Aus der Eichung des Okularmikrometers erhalten wir die Länge l eines Skalenteils dieses Mikrometers:

$$l = 0.13(1) \text{ mm}$$

Mit der gemessenen Haardicke s in Skalenteilen können wir nun die Dicke d in einer metrischen Einheit berechnen:

$$d = sl$$

Wir erhalten den Wert:

$$d = 0,078(13) \text{ mm}$$

4.2 Messungen an der optischen Schiene

4.2.1 Auflösungsvermögen des Mikroskops

Der Strahlengang der Anordnung mit Glasmaßstab und Spaltblende ist in Abb. 4 skizziert.

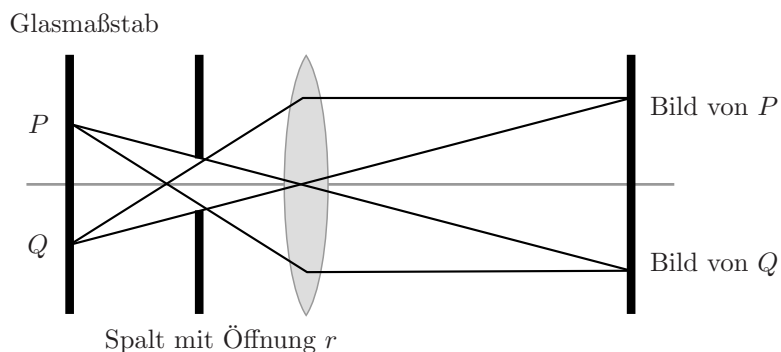


Abbildung 4: Strahlengang bei der Bestimmung des Auflösungsvermögens

Aus dem Praktikumsskript wissen wir, dass zwei Linien auf dem Glasmaßstab $0,5 \text{ mm}$ voneinander entfernt sind. Da diese gerade nicht mehr auf gelöst werden, erhalten wir so als theoretischen Wert für das Auflösungsvermögen A :

$$A = \frac{1}{0,5 \text{ mm}} = 2 \text{ mm}^{-1}$$

Um diesen Wert auf eine zweite Weise zu berechnen, bestimmen wir zunächst den Mittelwert der Breite r' des Bildes des Spalts:

$$r' = 0,45(2) \text{ mm}$$

Auf Grund der 10-fachen Vergrößerung des Mikroskops beträgt somit die tatsächliche Spaltbreite r :

$$r = 0,045(2) \text{ mm}$$

Mit dem von uns notiertem Abstand $L = 36,0(5) \text{ mm}$ zwischen der Blende und dem Glasmaßstab können wir den Öffnungswinkel α berechnen:

$$\sin \alpha = \frac{r}{L}$$

Da der Brechungsindex von Luft ungefähr 1 ist, erhalten wir mit der Wellenlänge $\lambda = 650 \text{ nm}$ des verwendeten Lichts das Auflösungsvermögen:

$$A = \frac{\sin \alpha}{\lambda} = \frac{r}{L\lambda}$$

Es ergibt sich der Wert:

$$A = 1,92(9) \text{ mm}^{-1}$$

4.2.2 Auflösungsvermögen mit Plexiglasstab

Der Strahlengang dieser Anordnung nach Einsetzen der Lochblende ist in Abb. 5 skizziert.

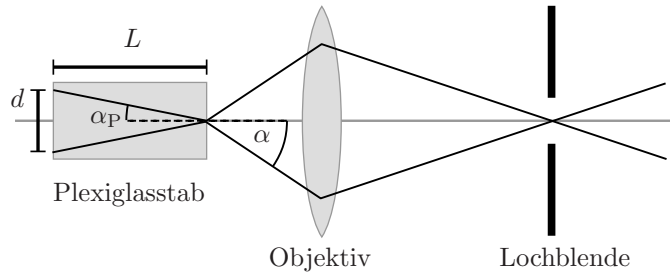


Abbildung 5: Strahlengang mit Plexiglasstab

Für die Beziehung der verzeichneten Winkel α und α_P erhalten wir nach dem Brechungsgesetz:

$$n \sin \alpha = n_P \sin \alpha_P$$

Dabei ist $n \approx 1$ der Brechungsindex von Luft und $n_P \approx 1,49$ der von Plexiglas.

Nun rechnen wir die von uns gezählten 11 noch sichtbaren Linien auf der Rückseite des Plexiglasses in eine Entfernung d um. Dazu verwenden wir, dass der Abstand zweier Linien laut Praktikumsskript $0,5 \text{ mm}$ beträgt. Wir erhalten so $d = 5,5 \text{ mm}$. Die Länge L des Plexiglasstabes haben wir zu 50 mm bestimmt.

Mit diesem Wissen berechnen wir den Winkel α_P unter dem der gerade noch sichtbare äußerste Lichtstrahl sich im Plexiglas bewegt:

$$\sin \alpha_P = \frac{d/2}{\sqrt{d^2/4 + L^2}}$$

Mit der zuvor betrachteten Beziehung können wir die numerische Apertur N bestimmen:

$$N = n \sin \alpha = n_P \frac{d/2}{\sqrt{d^2/4 + L^2}}$$

Wir erhalten den Wert:

$$N = 0,082$$

Zur Berechnung des Auflösungsvermögens A verwenden wir nun:

$$A = \frac{N}{\lambda}$$

Dies ergibt mit der Wellenlänge $\lambda = 650 \text{ nm}$:

$$A = 125,9 \text{ mm}^{-1}$$

5 Einordnung der Ergebnisse

Der erste Abschnitt mit den Messungen am Zeiss-Mikroskop verläuft erfreulich. Die berechneten Okularvergrößerungen stimmen in etwa mit den auf den Okularen notierten Werten überein. Das Okular, für welches wir eine Vergrößerung von 7,7 berechnet haben, hat laut Aufschrift eine 8-fache Vergrößerung. Bei dem anderen Okular liegen die Werte mit 10,9 und 12,5 etwas weiter auseinander.

Für die Brennweite haben wir leider keinen Referenzwert. Da jedoch die gleiche Apperatur wie in der zuvor diskutierten Messung verwendet wurde, erwarten wir, dass dieser Wert ähnlich gut ist.

Die 2 in Abschnitt 4.2.1 für das Auflösungsvermögen erhaltenen Werte liegen sehr nahe beieinander. Vergleicht man diese Werte mit denen der Messung mit dem Plexiglasstab, so kann man dies als eine deutliche Steigerung des Auflösungsvermögens durch das Plexiglas interpretieren.

Ein Aspekt, der die Messungen auf der optischen Schiene erschwerte, waren die sehr verunreinigten optischen Geräte. Zudem war auch die Achse des Mikroskops vertikal gegen die optische Achse verdreht. Dadurch war die Messung der Linien auf dem Plexiglasstab nur bei ständigem Druck auf eine Seite des Mikroskops möglich.