

Universität Freiburg
Physiklabor für Anfänger
Ferienpraktikum im Sommersemester 2023

Versuch 75

Lichtmikroskop



7. November 2024

Datum der Durchführung: 5. Oktober 2023

Tutor 

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel des Versuches	3
2	Versuchsdurchführung	3
3	Auswertung und Fehleranalyse	4
3.1	Vergrößerung des Objektivs	4
3.2	Vergrößerung des Okulars	4
3.3	Gesamtvergrößerung des Mikroskops	5
3.4	Auflösungsbegrenzung des Mikroskops	5
4	Diskussion der Ergebnisse	6
4.1	Übersichtliche Angabe der Endergebnisse	6
4.2	Vergleich mit erwarteten Ergebnissen	6
4.2.1	Objektiv	6
4.2.2	Okular	7
4.2.3	Mikroskop	7
4.2.4	Auflösungsbegrenzung	8
4.3	Verbesserte Methoden	8
5	Anhang	10
5.1	Rohdaten mit Vortestat	10
	Literatur	11

1 Ziel des Versuches

Ziel des Versuches ist es, ein Lichtmikroskop mit Köhler-Beleuchtung zu bauen und anschließend die Vergrößerung des Objektivs V_{Ob} und Okulars V_{Ok} sowie die Gesamtvergrößerung V_M zu bestimmen. Zuletzt soll die Auflösungsbegrenzung ermittelt werden.

2 Versuchsdurchführung

In Abb. 1 ist das aufgebaute Lichtmikroskop dargestellt. Auch die Positionen der verschiedenen Komponenten sind in dieser Skizze aufgetragen. Zunächst wird beschrieben,

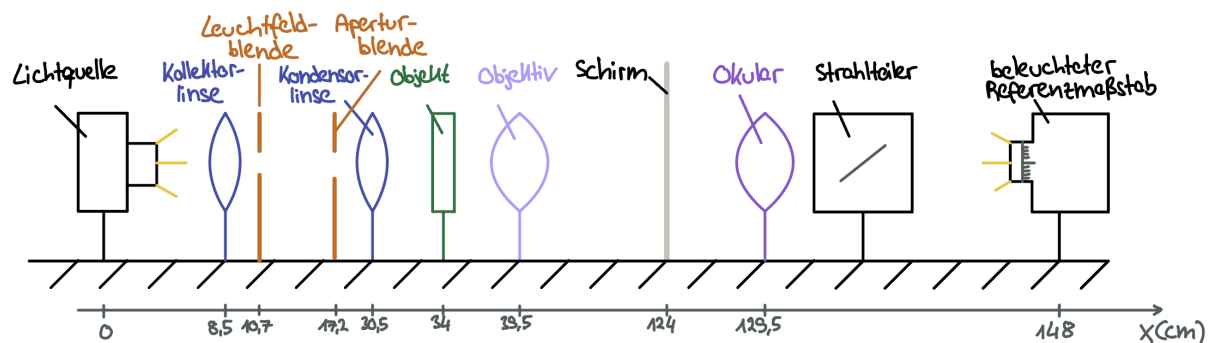


Abbildung 1: Versuchsaufbau des Lichtmikroskops inklusive Köhler Beleuchtung. Die eingezeichneten Positionen auf der Skala sind dabei nicht maßstabgetreu.

wie die Positionen bestimmt werden. Alle Komponenten werden auf einer optischen Bank montiert. An dieser ist eine Messskala angebracht um die jeweiligen Positionen ablesen zu können. Zuerst wird die Beleuchtung des Mikroskops aufgebaut. Dazu wird die LED an das Netzgerät angeschlossen, und die Kollektorlinse, die Leuchtfeldblende, die Aperturblende, sowie die Kondensorlinse eingesetzt. Dann werden die Abstände so ausgerichtet, dass das Licht der Kondensorlinse annähernd parallel ist. Außerdem werden die Blenden so ausgerichtet, dass die Leuchtfeldblende das Leuchtfeld verkleinert, beziehungsweise vergrößert und die Aperturblende die Helligkeit regelt. Nach Abschluss dieser Vorarbeiten, wird der Objekthalter, das Objektiv und der Schirm eingesetzt. Diese werden in einem Abstand platziert, so dass das Gitterobjekt scharf abgebildet wird, sowie dass die Leuchtfeldbegrenzung scharf ist. Zuletzt wird das Okular vor den Strahlteiler geschraubt und das Referenzgitter eingeschaltet, und alles so justiert, dass beim Hineinschauen von oben in den Strahlteiler zwei scharfe Bilder zu sehen sind. Danach werden die Messungen durchgeführt.

Die erste Messung, ist die Bestimmung der Objektiv-Vergrößerung V_{Ob} . Diese wird mittels der Abbildung einer Mikrometerskala auf ein Millimeterpapier auf dem Schirm erzielt. Danach wird die Okularvergrößerung V_{Ok} gemessen. Dazu wird die Millimeterskala des Schirms durch den Strahlteiler und das Okular betrachtet, und gegen die Referenzskala

im Strahlenteiler ausgewertet. Die vorletzte Messung betrifft die beiden Gesamtvergrößerungen V_M und V'_M . Die Vergrößerung V_M wird mittels einer Mattscheibe auf der Position des Schirms, aber durch den Strahlenteil mitsamt seiner Referenzskala gemessen. Analog dazu wird V'_M gemessen, allerdings ohne Mattscheibe. Zuletzt wird die Auflösungsbegrenzung des Lichtmikroskops gemessen. Dazu wird das Gitter als Objekt eingeschoben, und ein veränderbarer Einzelspalt vor das Objektiv gespannt. Der Einfachspalt wird so eingestellt, dass die Streifen des Gitters nicht mehr voneinander unterscheidbar sind. Danach wird der Spalt als Objekt gespannt und die Breite des Spaltes mithilfe des Strahlenteilers und der Referenzskala vermessen.

3 Auswertung und Fehleranalyse

3.1 Vergrößerung des Objektivs

Die Vergrößerung des Objektivs V_{Ob} kann mit Hilfe der Formel¹

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

berechnet werden. Die Gegenstandsgröße G entspricht hierbei dem Abstand von einem Millimeter auf der durchleuchteten Mikrometerskala. Die Gegenstandsgröße wird demnach als exakt angenommen. Es ergibt sich

$$G = 1\text{mm.}$$

Die Bildgröße B wird mit dem auf dem Schirm befestigten Millimeterpapier abgelesen. Man erhält

$$B = (20,0 \pm 0,2)\text{mm.}$$

Die Unsicherheit begründet sich dabei in der Ableseungenauigkeit und wird mit der Dreiecksverteilung ($a_B = 0,5\text{mm}$) berechnet. Dies soll auch für Folgende Unsicherheiten für die Bildgröße B gelten. Für die Vergrößerung ergibt sich nun

$$V_{Ob} = 20,0 \pm 0,2.$$

Die Unsicherheit wird mit der Gaußschen Fehlerfortpflanzung, wie folgt, berechnet:

$$\Delta V_{Ob} = \frac{\Delta B}{G} = 0,2.$$

3.2 Vergrößerung des Okulars

Die Vergrößerung des Okulars V_{Ok} wurde ebenfalls mittels der Formel

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

¹[Tip19]

ermittelt. In diesem Fall ergibt sich mit

$$G = 3\text{mm}$$

und

$$B = (10,0 \pm 0,2)\text{mm}$$

ein Verhältnis von

$$V_{Ok} = 3,33 \pm 0,07.$$

Die Gegenstandsgröße G entspricht hierbei dem Abstand von 3 Kästchen auf dem Millimeter Papier des Schirms, die beobachtete Bildgröße B entspricht 10 Kästchen auf der Referenzskala. Abgelesen wurde durch Hineinschauen von oben in den Strahlenteiler. Die Unsicherheiten berechnen sich analog zu den Unsicherheiten in Abschnitt 3.1.

3.3 Gesamtvergrößerung des Mikroskops

Die Vergrößerung durch das Mikroskop setzt sich aus der Vergrößerung des Objektivs und der des Okulars zusammen. Analog zu Abschnitt 3.2 wird die Gesamtvergrößerung gemessen. Es wird dazu in den Strahlenteiler geschaut, indem das durch das Okular und das Objektiv vergrößerte Dia mit Mikrometerskala und die Referenzskala zu sehen ist. Es ergibt sich als Gegenstandsgröße

$$G = 0,3\text{mm}$$

und Bildweite

$$B = (20 \pm 0,2)\text{mm}.$$

Dies war sowohl mit als auch ohne die Mattscheibe gleich. Es ergibt sich also:

$$V_M = V'_M = \frac{B}{G} = 66,7 \pm 0,7$$

Die Unsicherheiten berechnen sich wiederum wie in Abschnitt 3.1.

3.4 Auflösungsbegrenzung des Mikroskops

Die Spaltbreite, bei dem die Streben des Gitters nicht mehr voneinander unterschieden werden kann, wird gemessen und ergibt sich als

$$S = (9,0 \pm 0,2)\text{mm}$$

im vergrößerten Zustand. Die Unsicherheit ΔS entspricht der Unsicherheit für die in den vorherigen Abschnitten verwendeten Bildgröße B . In der Realität ist die kritische Spaltbreite

$$s = \frac{S}{V_M} = (0,135 \pm 0,003)\text{mm}.$$

Die Unsicherheit wurde dabei mittels Gaußscher Fehlerfortpflanzung berechnet:

$$\Delta s = \sqrt{\left(\frac{1}{V_M} \Delta S\right)^2 + \left(\frac{S}{V_M^2} \Delta V_M\right)^2}$$

4 Diskussion der Ergebnisse

4.1 Übersichtliche Angabe der Endergebnisse

Es ergibt sich für die Vergrößerung des Objektivs

$$V_{Ob} = 20,0 \pm 0,2$$

für die Vergrößerung des Okulars

$$V_{Ok} = 3,33 \pm 0,07$$

und für die Gesamtvergrößerung mit oder ohne Mattscheibe

$$V_M = V'_M = 66,7 \pm 0,7.$$

Für die Auflösungsbegrenzung ergibt sich als kritische Spaltbreite

$$s = (0,135 \pm 0,003)\text{mm}.$$

4.2 Vergleich mit erwarteten Ergebnissen

Die erwarteten Werte sollen zunächst berechnet und dann mit dem experimentell bestimmten Wert verglichen werden.

4.2.1 Objektiv

Für die Vergrößerung des Objektivs gilt die Formel²

$$V_{Ob}^* = -\frac{l}{f_{Ob}}.$$

Das Vorzeichen beachtet, dass das Bild sich im Bezug auf die optische Achse auf der anderen Seite befindet. Alle Vergrößerungen werden im Folgenden als positive Werte angegeben. In der Formel ist $f_{Ob} = 40\text{mm}$ die Brennweite des Objektivs. Diese ist in der Versuchsanleitung³ gegeben und wird als exakt angenommen. Die Größe l ist die Tubuslänge und entspricht der Länge zwischen dem zweiten Brennpunkt des Okulars und der Position des Schirms. Die Tubuslänge kann damit aus den in Abb. 1 gegebenen Positionen x berechnet werden. Es gilt

$$l = x_{Schirm} - (x_{Ob} + f_{Ob}) = (80,5 \pm 0,6)\text{cm}.$$

Die Unsicherheit Δl ergibt sich aus den Unsicherheiten mit denen die Positionen x_{Schirm} und x_{Ob} bestimmt werden. Diese sind bedingt durch die ungenaue Ablesbarkeit der Position aufgrund der Größe der Komponenten und werden mit einer Dreiecksverteilung

²[Tip19]

³[Bar23]

($a = 1\text{cm}$) berechnet. Diese Unsicherheit gilt für alle bestimmten Positionen entlang der optischen Bank. Für die Vergrößerung des Objektivs folgt

$$V_{Ob}^* = (20,13 \pm 0,14).$$

Die Standardunsicherheit ΔV_{Ob}^* wurde hierbei mittels Gaußscher Fehlerfortpflanzung über

$$\Delta V_{Ob}^* = \frac{1}{f_{Ob}} \Delta l$$

berechnet. Der berechnete Wert V_{Ob}^* kann nun mit dem experimentell bestimmten Wert $V_{Ob} = 20,0 \pm 0,2$ verglichen werden. Für ein festgelegtes Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ kann der Wert

$$t = \frac{|\hat{V}_{Ob}^* - \hat{V}_{Ob}|}{\sqrt{(\Delta V_{Ob}^*)^2 + (\Delta V_{Ob})^2}} = 0,5$$

berechnet werden. Die Abweichung ist damit nicht signifikant und die Ergebnisse sind miteinander verträglich.

4.2.2 Okular

Für die Vergrößerung des Okulars kann man ähnlich vorgehen. Berechnet werden kann ein Wert mit der Formel⁴

$$V_{Ok}^* = \frac{s_0}{f_{Ok}}.$$

Dabei ist $f_{Ok} = 80\text{mm}$ die Brennweite des Okulars welche ebenfalls in der Versuchsanleitung⁵ angegeben ist. Die Größe s_0 ist die deutliche Sehweite. Als Standardwert⁴ wird meist $s_0 = 25\text{cm}$ angegeben. Mit diesen beiden Werten folgt

$$V_{Ok}^* = 3,13$$

Vergleicht man dieses Ergebnis mit dem experimentell bestimmten Wert $V_{Ok} = 3,33 \pm 0,07$ und berechnet den t-Wert erhält man $t = 2,9 \geq 2$. Die Abweichung wäre damit signifikant. Es ist jedoch hinzuzufügen, dass der Wert für die deutliche Sehweite s_0 stark von dem Betrachter und dessen Alter abhängt. Die Abweichung kann somit darauf zurückgeführt werden.

4.2.3 Mikroskop

Die Gesamtvergrößerung des Mikroskops kann nun mit der Formel⁴

$$V_M^* = V_{Ob}^* \cdot V_{Ok}^*$$

⁴[Tip19]

⁵[Bar23]

bestimmt werden. Es ergibt sich

$$V_M^* = (62,9 \pm 0,5)$$

wobei sich die Unsicherheit mit

$$\Delta V_M^* = V_{Ok} \cdot \Delta V_{Ob}$$

bestimmen lässt. Der t-Wert lässt sich analog zu Abschnitt 4.2.1 bestimmen. Man erhält $t = 4,6$ und damit eine signifikante Abweichung. Die Abweichung kann damit nicht mehr auf statistische Schwankungen zurückgeführt werden und begründet sich entweder in der Messung oder in einer Abweichung des berechneten Wertes von dem realen Wert. Bei letzterem Punkt sei wieder die Ungenauigkeit für die deutliche Sehweite s_0 zu nennen.

4.2.4 Auflösungsbegrenzung

In einem letzten Vergleich soll die kritische Spaltgröße $s = (0,135 \pm 0,003)$ mm mit dem berechneten Abbe-Limit⁶ verglichen werden. Hier gilt

$$\delta = \frac{\lambda}{\sin \alpha}$$

Wobei δ dem minimalen Abstand zweier Objekte entspricht, sodass diese mit einem Mikroskop noch als getrennt wahrnehmbar sind. Außerdem ist α der halbe Öffnungswinkel des Objektivs und λ die verwendete Wellenlänge. Bei diesem Versuchsaufbau⁶ gilt

$$\alpha \propto \arctan \frac{1}{2}.$$

Wird $\alpha = \arctan \frac{1}{2}$ angenommen und $\lambda = 550$ nm gesetzt, was einer Wellenlänge im mittleren Bereich des sichtbaren Lichts entspricht, so kann die Größe δ berechnet werden. Es ergibt sich

$$\delta = 1,2 \mu\text{m}.$$

Dieser Wert ist um zwei Größenordnungen kleiner als die kritische Spaltbreite s . Man erkennt somit das der mit dem aufgebauten Mikroskop erreichte minimale Abstand zwischen zwei Objekten, sodass diese als getrennt wahrgenommen werden können, viel größer ist als der theoretisch mögliche Wert δ .

4.3 Verbesserte Methoden

Die Methoden zu verbessern fällt bei diesem Versuch recht schwer, da die angewandten Methoden recht präzise sind, was die Messung der Vergrößerung angeht. Natürlich wären saubere und noch besser gearbeitete Linsen wünschenswert, letzteres allerdings im Rahmen dieses Praktikums nicht realisierbar. Trotzdem würde dies Verschmutzungen

⁶[Bar23]

ungewollte Reflektionen und Bildfehler minimieren. Eine weitere Möglichkeit um Ungenauigkeiten zu reduzieren wäre die Positionen, an denen die einzelnen Teile aufgebaut werden im Vorhinein auszurechnen, und natürlich genauer zu wissen wie diese einzustellen sind. Dies war im Vorhinein nicht vollständig klar und nicht einfach zu recherchieren. Vorallem in der Bestimmung der Positionen x auf der optischen Bank sind Verbesserungen möglich. Es ist teilweise schwer die genaue Position einer Komponente an der Messskala abzulesen. Eine Art Zeiger könnte dabei Abhilfe schaffen. Kleinere Abstände könnten auch mit einem Messschieber gemessen werden. Dies würde die Genauigkeit deutlich erhöhen, ist jedoch auch mit einem größeren Aufwand verbunden. Eine genauere Bestimmung der Positionen würde sich auf die berechneten Vergrößerungen und damit auch auf den Vergleich mit den experimentell bestimmten Werten auswirken.

5 Anhang

5.1 Rohdaten mit Vortestat

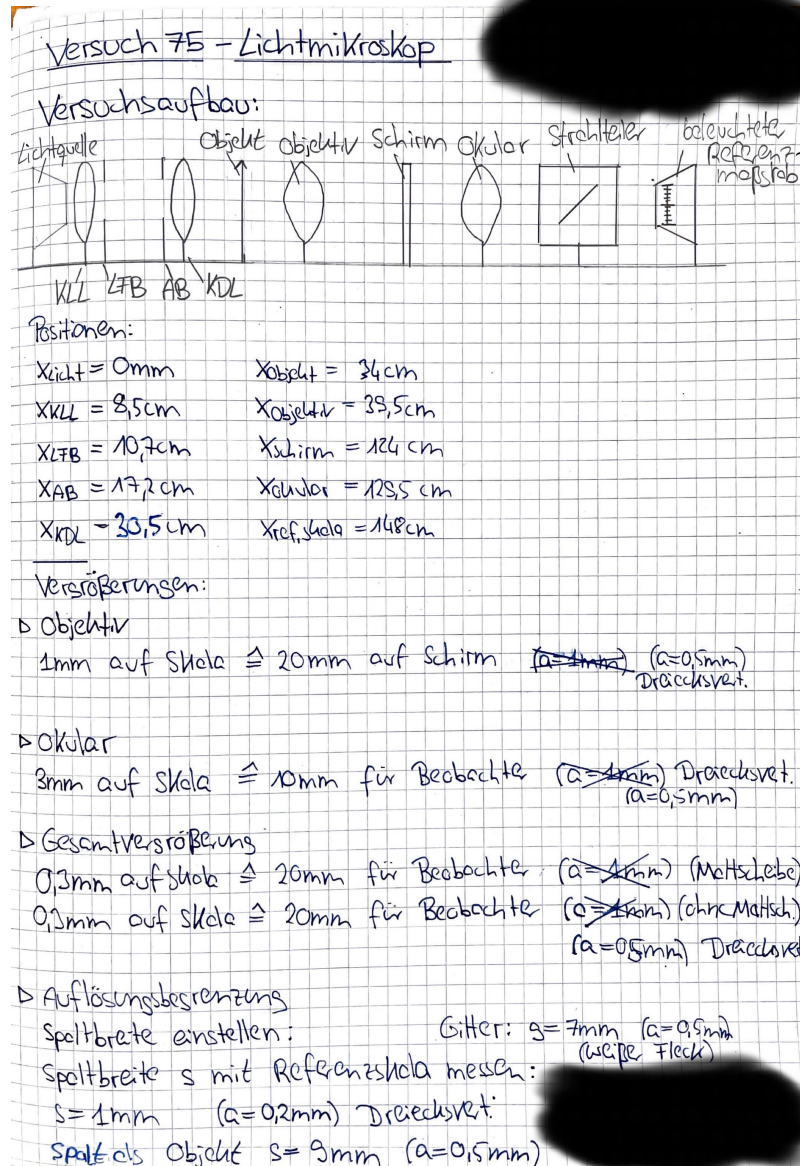


Abbildung 2: Rohdaten

Literatur

- [Bar23] Dr. Christof Bartels. *Versuch 75*. 19. Sep. 2023. URL: https://ilias.uni-freiburg.de/goto.php?target=file_3224707_download&client_id=unifreiburg (besucht am 05.10.2023).
- [Tip19] Paul A. Tipler. *Physik*. Springer Spektrum, 2019.