

Versuch 75: Lichtmikroskop

(durchgeführt am 01.10.2018 bei Daniel Bartel)
Gruppe 14: Andréz Gockel, Patrick Münnich
10. Oktober 2018

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel des Versuchs	2
2	Physikalische Zusammenhänge	2
3	Aufbau	3
4	Durchführung	4
4.1	Aufgabe 1	4
4.2	Aufgabe 2	4
4.3	Aufgabe 3	4
4.4	Aufgabe 4	5
4.5	Aufgabe 5	5
5	Auswertung	5
6	Diskussion	7

1 Ziel des Versuchs

1. Aufbau des Köhlerschen Beleuchtungsstrahlengangs
2. Aufbau des Objektivs, Messung des Abbildungsmaßstabs am Zwischenbild
3. Separater Aufbau des Okulars, Messung der Okularvergrößerung
4. Kombination zum Mikroskopstrahlengang, Messung der Gesamtvergrößerung
5. **bonus** Begrenzung des Auflösungsvermögens durch einen Spalt im Strahlengang
6. **bonus** Beobachtung von Linsenfehlern, Vergleich mit kommerziellen Mikroskopen

2 Physikalische Zusammenhänge

Die wahrgenommene Größe eines Gegenstands hängt von der Größe des Bilds B und der Bildweite b ab:

$$\epsilon_0 = \arctan\left(\frac{B}{b}\right) \quad (1)$$

Wird ein Objekt durch eine Lupe betrachtet, so hängt die Vergrößerung des Gegenstands G von dem Abstand f dessen zur Lupe und der als 250 mm definierten Bezugssehweite ab:

$$V_{Lupe} \approx \frac{\tan \epsilon}{\tan \epsilon_0} = \frac{G/f}{G/s_0} = \frac{s_0}{f} \quad (2)$$

Das ganze wird komplizierter, wenn wir statt einer Lupe ein Lichtmikroskop verwenden. Wir gehen von einem aus zwei Sammellinsen bestehenden Mikroskop aus. Das heißt, dass zuerst durch ein Objektiv ein vergrößerndes Zwischenbild erzeugt wird und dann durch ein Okular das Resultat angeschaut wird. Das Zwischenbild hat die Größe B und wird mit dem Abbildungsmaßstab

$$\beta = \frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad (3)$$

erzeugt. Im Okular wird dies unter dem Sehwinkel $\epsilon \approx \tan\left(\frac{B}{f_{Ok}}\right)$ betrachtet. Unsere Gesamtvergrößerung sieht dann folgendermaßen aus:

$$V_M = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \frac{B/f_2}{G/s_0} = \frac{b}{g} \frac{s_0}{f_2} = \beta_{Obj} V_{Ok} \quad (4)$$

Wichtig ist auch zu verstehen, dass es immer eine Auflösesebegrenzung gibt, d.h. man kann nicht unendlich klein sehen. Um dies zu berechnen, führen wir erstmal die numerische Apertur NA ein. Dieser Wert hängt sowohl von dem halben Öffnungswinkel des Objektivs α als auch von der Brechzahl der Immersionsflüssigkeit n ab:

$$NA = n \sin \alpha \quad (5)$$

Ohne Immersionsflüssigkeit ist immer $NA < 1$, mit einer ist $NA \geq 1.4$. Um daraus unser Abbe-Kriterium für den kleinsten noch auflösbaren Abstand zu finden rechnen wir dann

$$\delta = \frac{1.22\lambda}{2NA} = \frac{1.22\lambda}{2n \sin \alpha} \quad (6)$$

3 Aufbau

Für diesen Versuch wird eine optische Bank mit austauschbaren und verschiebbaren optischen Komponenten verwendet. Es stehen sämtliche Komponente zur Verfügung:

- LED Leuchte
- 4 Linsen
 - Kollektorlinse ($f_1 = 40\text{ mm}$)
 - Kondensorlinse ($f_2 = 40\text{ mm}$)
 - Objektiv ($f_3 = 40\text{ mm}$)
 - Okular ($f_4 = 80\text{ mm}$)
- 2 Blenden
 - Leuchtfeldblende
 - Aperaturblende
- 2 Objekte
 - Dia mit einem Gitter
 - Dia mit einer Mikrometerskala
- 2 Bildschirme
 - Eine weiße Mattscheibe mit aufgedruckter Mikrometerskala auf einer Seite
 - Eine semi-transparente Mattscheibe
- Verstellbarer Spalt
- Strahlteiler
- Beleuchteter Referenzmaßstab

Zusätzlich werden ein Massband, und ein Geodreieck für die Messungen verwendet.

Das Objektiv ist in diesem Versuch mit einem flachen Stab mit der Bildschirmhalterung verbunden, sodass dieser Abstand immer gleich ist (wie bei einem kommerziellen Mikroskop). Die Lichtquelle ist am linken Ende der Bank fixiert und der beleuchtete Referenzmaßstab an dem rechten Ende. Zu Beginn wird das Objektiv mit dem weißen Schirm in der Halterung so verschoben, dass die Lichtquelle gut auf dem Schirm abgebildet wird.

Für den letzten Teil steht auch ein kommerzielles Mikroskop mit diversen Präparaten zur Verfügung.

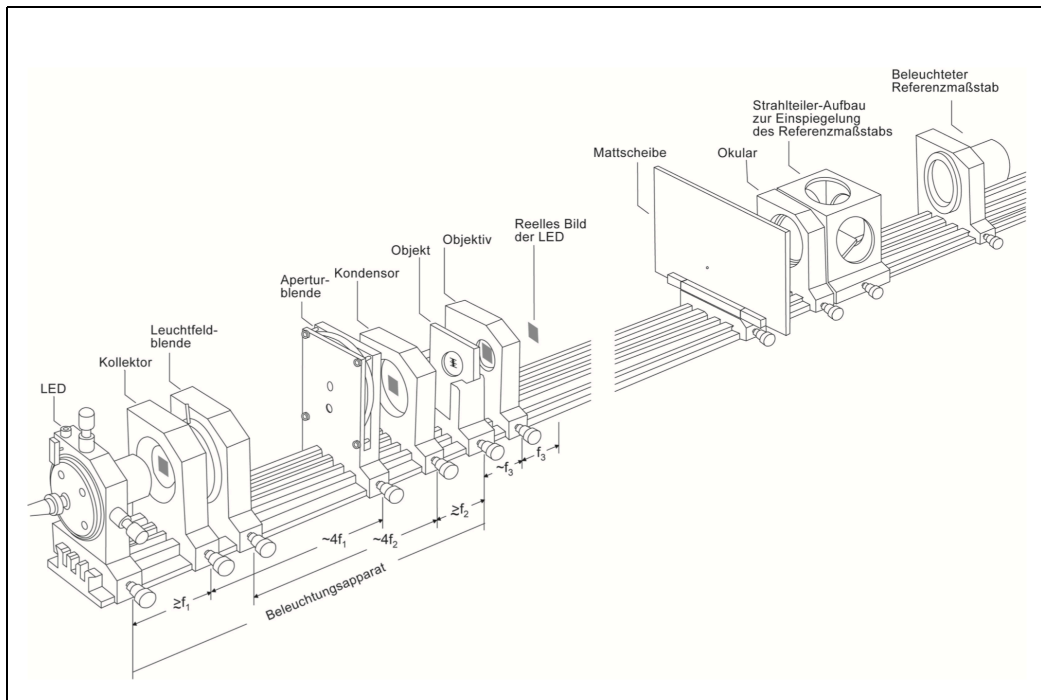


Abbildung 1: Versuchsaufbau [1]

4 Durchführung

4.1 Aufgabe 1

Zuerst wurde als Objekt das Dia mit dem Gittermuster vor dem Objektiv gestellt, bei der Position 25.0 cm. Zunächst wird nach der Lichtquelle eine Kollektorlinse platziert, welches so verschoben wird, dass das Objekt gut ausgeleuchtet wird und keine sphärischen oder chromatischen Abberationen auftreten. Dies war bei der Position 10.9 cm. Als nächstes wird die Aperaturblende eingesetzt, diese verändert die Helligkeit der Beleuchtung am Objekt. Die Aperaturblende muss dafür vor dem Objekt platziert werden und der Position 19.1 cm. Abschliessend wird die Leuchtfeldblende so nah wie möglich an die Kollektorlinse platziert (Position 12.9 cm), dies ermöglicht es den ausgeleuchteten Bereich am Objekt zu ändern, ohne die Helligkeit zu beeinflussen.

4.2 Aufgabe 2

In diesem Teil wird die Beleuchtung durch Abstimmung des Beleuchtungsstrahlengangs und des Abbildungsstrahlengangs optimiert. Unsere optischen Komponenten waren schon aus dem ersten Teil gut platziert, sodass nur noch die Kondensorlinse genau eine Brennweite also 4 cm hinter der Aperaturblende gesetzt werden musste.

4.3 Aufgabe 3

Zuerst wird das Objekt ausgetauscht mit der Mikrometerskala bedrucktem Dia. Dann wird mit einem Massband die Bildweite (b) und Gegenstandsweite (g) gemessen. Dann wird die Bildgröße (B) und Gegenstandsgröße (G) mit dem Geodreieck gemessen.

Zunächst wird der Schirm entfernt und das Okular 5 cm hinter der Halterung platziert, dann wird der Strahlenteiler direkt neben dem Okular eingesetzt. Mit diesem Aufbau wird zunächst die Vergrößerung des Okular gemessen. Hierfür werden drei Verfahren verglichen. Ein mal durch einsetzen des semi-transparenten Schirms auf dem ein reelles Zwischenbild der Mikrometerskala erscheint. Durch den Strahlenteiler wird dieses Zwischenbild mit der Referenzskala überlagert. Die Vergrößerung wird

notiert und der Schirm wird mit der Mattscheibe ersetzt. Die Skala auf der Rückseite des Schirms wird beleuchtet und wieder mit der Referenzskala verglichen. In dem dritten Verfahren wird der Schirm entfernt und das Bild direkt mit der Referenzskala verglichen.

4.4 Aufgabe 4

Um die räumliche Auflösung des Mikroskops zu bestimmen wird zunächst das Abbe-Kriterium verwendet. Hierfür wird ein verstellbarer vertikaler Spalt hinter dem Objektiv gesetzt. Die Mattscheibe wird wieder eingebaut. Dann wird der Spalt so lange verringert bis die Striche and der abgebildeten Skala gerade nicht mehr getrennt wahrgenommen werden können. Um die Spalt breite dann zu bestimmen wird das Objekt entfernt und mit dem Spalt ersetzt. Der Spalt wird dann an dem Schirm abgebildet und kann gemessen werden wobei die im Teil 3 bestimmte Vergrößerung verwendet wird.

4.5 Aufgabe 5

Zuletzt wurde das Objekt wieder eingesetzt und der Spalt entfernt. Dann wurde das Dia mit dem Gitter wieder eingebaut und Abbildungsfehler betrachtet. Hier traten leichte sphärische und chromatische Abberationen auf. Dann wurde die Vergrößerung unseres Aufbaus mit der des kommerziellen Mikroskops verglichen.

5 Auswertung

Um die Vergrößerung des Mikroskops, die Korrektheit des Aufbaus und die Theorie zu überprüfen, berechnen wir zuerst den gemessen Abbildungsmaßstab des Objektivs β mittels (3). Mit den bestimmten $B = (98 \pm 0.2)$ mm und $G = 5$ mm erhalten wir:

$$\beta = 19.60 \pm 0.04$$

Für den Fehler können wir hier einfach

$$\frac{\Delta\beta}{\beta} = \sqrt{\left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2}$$

bestimmen.

Dann berechnen wir die Vergrößerung des Mikroskops. Wir rechnen

$$V_M = \frac{B d_1}{G d_2}$$

mit d_1 als die am Referenzmaßstab gemessene Länge und d_2 die Größe des Bilds. Als Werte haben wir $d_1 = (10.00 \pm 0.03)$ mm und $d_2 = (3.00 \pm 0.03)$ mm. Wir erhalten:

$$V_M = (65.3 \pm 0.7)$$

Zur Fehlerberechnung kann man hier die vereinfachte Form der gaußschen Fehlerfortpflanzung verwenden:

$$\frac{\Delta V}{V} = \sqrt{\left(\frac{\Delta d_1}{d_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d_2}{d_2}\right)^2}$$

Um dann zum Vergleich den theoretischen Wert zu finden, rechnen wir laut (4) einfach

$$V_M = \frac{b s_0}{g f_2}$$

Unsere Messwerte lauten

- $b = (826 \pm 1) \text{ mm}$
- $g = (42.036 \pm 0.004) \text{ mm}$

mit $s_0 = 250 \text{ mm}$ und $f_2 = 80 \text{ mm}$. Zur Berechnung von g rechnen wir

$$g = \left(\frac{1}{f_1} - \frac{1}{s_{\text{Ok}} - f_4 - s_{\text{Obj}}} \right)^{-1}.$$

Dies folgt aus

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

also

$$g = \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{b} \right)^{-1}.$$

Partielle Ableitungen lauten dann:

$$\frac{\partial g}{\partial f} = \frac{b^2}{(b-f)^2}$$

$$\frac{\partial g}{\partial b} = -\frac{b^2}{(b-f)^2}$$

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial b} \Delta b \right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial f} \Delta f \right)^2}$$

Wir erhalten also

$$V_M = 61.4 \pm 0.1$$

Zudem wollen wir noch mittels des zuvor erwähnten Abbe-Kriteriums den kleinsten noch auflösbaren Abstand δ bestimmen und mit dem Strichabstand auf dem Objektmikrometer vergleichen.

Bestimmt haben wir $\beta = 20.38 \pm 0.03$ und $B = (9.8 \pm 0.2) \text{ mm}$. Für den Fehler finden wir dann mit

$$\Delta s = s \sqrt{\left(\frac{\Delta B}{B} \right)^2 + \left(\frac{\Delta \beta}{\beta} \right)^2}$$

unseren Fehler auf s . Den Wert von s selbst berechnen wir mit

$$s = \frac{B}{\beta}$$

und erhalten

$$s = (0.471 \pm 0.001) \text{ mm}.$$

Dazu wollen wir noch unser α berechnen. Wir nutzen eine geometrische Abschätzung und rechnen

$$\alpha \approx \arctan\left(\frac{s}{f}\right) \approx \frac{s}{f}$$

Wir erhalten $\alpha = (0.01178 \pm 0.00003) \text{ rad}$. Fehler wird hier analog zu vorherigen mit gaußscher Fehlerfortpflanzung berechnet.

Wir rechnen jetzt mit (6), $n = 1$ und $\lambda = 540 \text{ nm}$ δ aus, wieder mit Fehlerfortpflanzung für die Fehlerberechnung. Unser Ergebnis lautet dann:

$$\delta \approx (2.796 \pm 0.007) \times 10^{-5} \text{ m}$$

6 Diskussion

Um unsere Messwerte auf Verträglichkeit zu überprüfen, nutzen wir die bekannte t -Funktion

$$t = \frac{|x_n - y_n|}{\sqrt{x_s^2 + y_s^2}} \quad (7)$$

Wir erhalten für unsere oben bestimmten Werte $t = 5.58$. Dies ist außerhalb des erwünschten Bereichs von $t < 2$, was Unverträglichkeit impliziert.

Erstaunlich ist dieses Resultat jedoch nicht. Es ist durchaus möglich, dass aufgrund von mangelnder Erfahrung die Größen schlecht abgelesen wurden. Eventuell sollten also Fehler größer abgeschätzt werden.

Systematische Fehler sind hier erstmal, dass nicht klar ist, ob unsere f -Werte korrekt sind, da diese vorgegeben wurden. Außerdem ist es durchaus möglich, dass die Angaben auf dem Referenzmaßstab und dem Objekt nicht richtig sind.

Zur Verbesserung könnte man hier in den Halterungen Schlitze einbauen, durch welche man die genaue Position der einzelnen Geräte identifizieren könnte. Auch würde helfen, wenn die Halterung für die Objekte dünner wäre, sodass die Objekte nicht nach links und rechts rutschen könnten, da dies auch die Schärfe beeinflusst.

Um noch unseren Wert für die Auflösungsbegrenzung zu überprüfen vergleichen wir diesen mittels (7) mit dem Strichabstand $x = 5 \times 10^{-5} \text{ m}$ und erhalten $t = 315$. Dies impliziert starke Unverträglichkeit. Es ist also wahrscheinlich, dass hier größere Fehler stattfanden. Wie zuvor ist es aber am wahrscheinlichsten, dass schlecht bzw. falsch abgelesen wurde.

Literatur

- [1] Physikalisches Institut der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg (Hrsg.) (08/2018): Versuchsanleitungen zum Physiklabor für Anfänger*innen, Teil 1, Ferienpraktikum im Sommersemester 2018.