

Versuch 75

Lichtmikroskop

Protokoll des Anfänger-Praktikums II



Gruppe 14

Durchgeführt am
19.02.2018

Inhaltsverzeichnis

1	Versuchsziel	3
2	Physikalische Grundlagen	3
3	Versuchsaufbau	5
4	Versuchsdurchführung	6
5	Auswertung	7
5.1	Reelles Zwischenbild	7
5.2	Vergrößerung durch das Okular	7
5.3	Gesamtvergrößerung des Mikroskops	8
6	Zusammenfassung und Diskussion	9
7	Literatur	10
8	Anhang	11

1 Versuchsziel

Ziel des Versuchs ist der Aufbau eines Lichtmikroskops aus seinen Einzelteilen. Dafür wird zunächst der Köhlersche Beleuchtungsstrahlengang und im Anschluss das Objektiv aufgebaut. Anschließend wird der Abbildungsmaßstab des Zwischenbildes gemessen. Danach soll separat das Okular aufgebaut und dessen Vergrößerung gemessen werden. Zuletzt werden die einzelnen Komponenten verbunden und die Gesamtvergrößerung gemessen.

2 Physikalische Grundlagen

Lupe

Im menschliche Auge befindet sich vorne eine Sammellinse und am hinteren Ende, in einem festen Abstand b , die Netzhaut, auf der das Bild abgebildet wird. Da sowohl Linse als auch die Netzhaut im Auge an einem festen Ort liegen, bleibt der Abstand und damit die Bildweite b konstant. Aus diesem Grund kann die Größe eines Bildes nicht durch Veränderung der Bildweite variiert werden, sondern lediglich über den Sehwinkel ϵ . Dieser vergrößert sich, wenn ein Objekt näher zum Auge hin bewegt wird. Er wird durch

$$\epsilon = \arctan\left(\frac{B}{b}\right) \quad (2.1)$$

beschrieben. Allerdings kann ein durchschnittlicher Mensch ohne Sehschwäche nur bis zu einem minimalen Abstand (Bezugssehweite) von etwa

$$s_0 = 250\text{mm} \quad (2.2)$$

scharf sehen, ohne sich dabei anstrengen zu müssen.

Aus diesem Grund muss für eine stärkere Vergrößerung des Gegenstands ein optisches Element wie eine Lupe oder ein Mikroskop verwendet werden. Diese bestehen aus einer oder mehreren Sammellinsen. Die Vergrößerung ist dabei über den Sehwinkel mit dem optischen Element im Gegensatz zu dem mit bloßem Auge definiert:

$$V = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (2.3)$$

ϵ entspricht dabei dem Sehwinkel mit optischem Element und ϵ_0 dem des bloßen Auges mit Objekt im Abstand s_0 .

Wird die Lupe wie in Abbildung 1 direkt vor das Auge gehalten und der Gegenstand im Brennpunkt der Lupe platziert, ergibt sich für den Sehwinkel $\epsilon = G/f$. Aus der oberen Zeichnung der Abbildung 1 geht außerdem hervor, dass der Sehwinkel ohne optisches Element $\epsilon_0 = G/s_0$ entspricht. Damit folgt für die Vergrößerung der Lupe

$$V_{Lupe} \approx \frac{\tan(\epsilon)}{\tan(\epsilon_0)} = \frac{G/f}{G/s_0} = \frac{s_0}{f}. \quad (2.4)$$

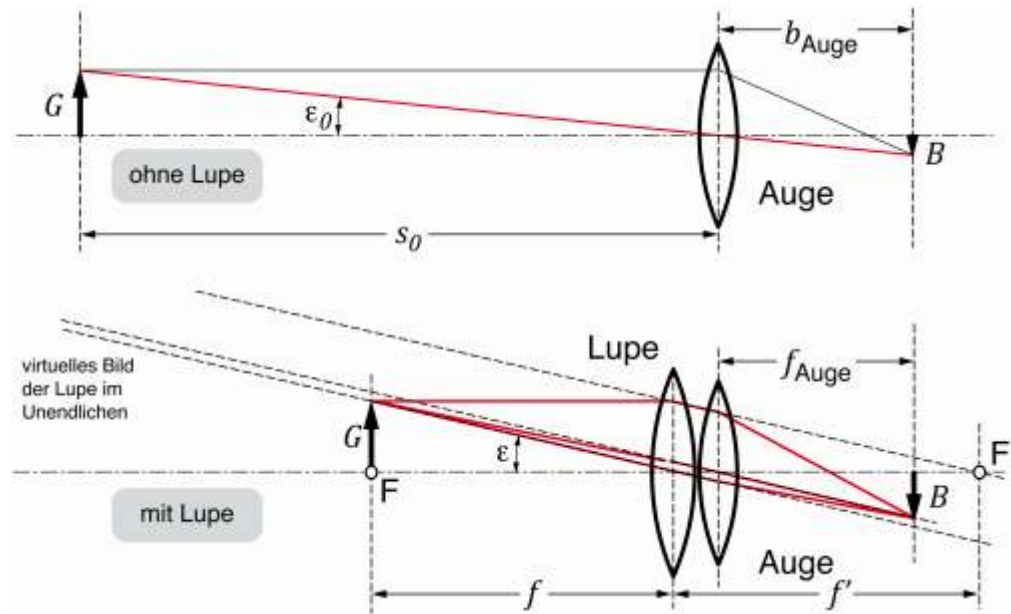


Abbildung 1: Vergrößerung und Seh winkel mit einer Lupe im Vergleich zum bloßen Auge [1]

Mikroskop

Im Falle eines Mikroskops werden nun zur stärkeren Vergrößerung zwei Sammellinsen, das Objektiv und das Okular, verwendet. Durch das Objektiv wird dabei ein vergrößertes Zwischenbild erzeugt, das dann durch das Okular betrachtet wird, welches wiederum wie eine Lupe wirkt. Der Seh winkel des bloßen Auges bei Bezugssehweite s_0 bleibt weiterhin $\epsilon_0 = G/s_0$. Der Abbildungsmaßstab des Zwischenbilds (siehe Abbildung 2) zwischen Objektiv und Okular ist $\beta = B/G = b/g$. Der Seh winkel, unter dem das Zwischenbild durch das Okular erscheint, ergibt sich zu $\epsilon = B/f_{\text{Ok}}$, was in Abbildung 2 nachvollzogen werden kann. Für die Gesamtvergrößerung des Mikroskops folgt demnach:

$$\frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \frac{B/f_2}{G/s_0} = \frac{b}{g} \cdot \frac{s_0}{f_2} = \beta_{\text{obj}} \cdot V_{\text{Ok}} \quad (2.5)$$

Die Vergrößerung des Mikroskops hängt somit von dem Abbildungsmaßstab des Objektivs β_{obj} und der Vergrößerung durch das Okulars V_{Ok} ab.

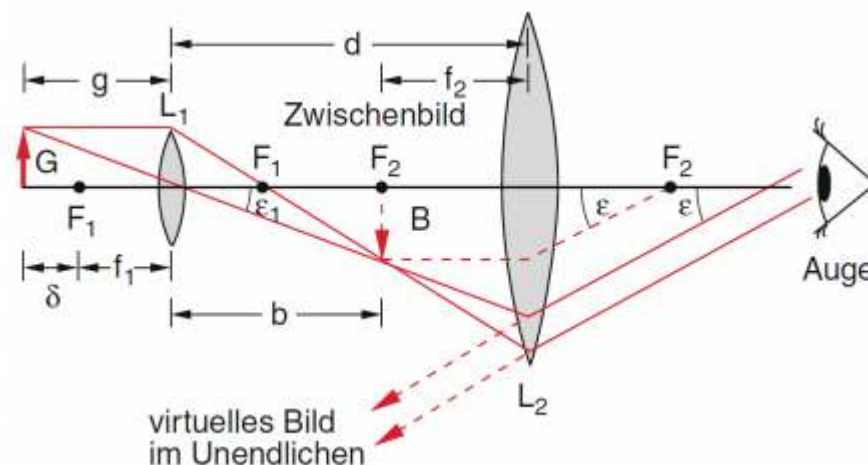


Abbildung 2: Vergrößerung mit dem Mikroskop und Seh winkel durch das Okular [1]

3 Versuchsaufbau

Zu Beginn besteht der Versuchsaufbau aus einer Schiene und den darauf montierten Bestandteilen Lichtquelle, Objektiv, Schirm und dem beleuchteten Referenzmaßstab. Die Lichtquelle befindet sich am linken Ende der Schiene, der beleuchtete Referenzmaßstab am rechten Ende. Objektiv und Schirm stellen den klassischen Tubus des Mikroskops dar, weshalb sie in einem bestimmten Abstand fest miteinander verbunden sind. Im Laufe der Versuchsdurchführung soll das Mikroskop aus den in Abbildung 3 beschrifteten Einzelteilen aufgebaut werden. Die Abbildung 3 zeigt dabei auch schon die ungefähre Anordnung des fertig aufgebauten Lichtmikroskops.

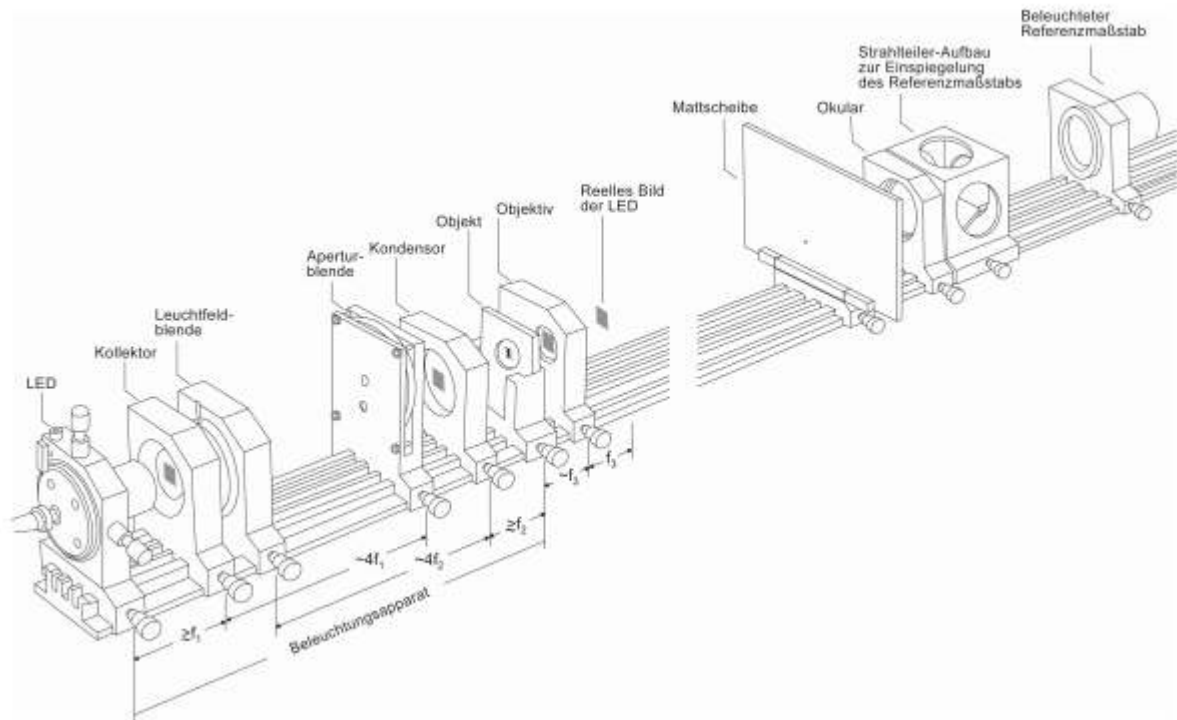


Abbildung 3: Versuchsanordnung des fertig aufgebauten Lichtmikroskops mit Beschriftung der Einzelteile [1]

4 Versuchsdurchführung

Zunächst galt es, auf dem Schirm ein reelles Zwischenbild zu erhalten, sowie die Helligkeit und den Beleuchtungsbereich durch Blenden einzustellen. Das und auch der restliche Aufbau des Lichtmikroskops wurden nach der gegebenen Anleitung aufgebaut. Deshalb werden im Folgenden nur die wichtigen Teile des Aufbaus und alles, worauf man im Speziellen achten musste, erwähnt.

Dabei wurde zuerst ein möglichst scharfes Bild der Lichtquelle auf dem Schirm erzeugt und dort zu zentriert. Das Licht der Quelle wurde dabei durch das Einsetzen und Ausrichten einer Kollektorlinse vergrößert abgebildet und optimiert. Dabei wurde vor allem darauf geachtet, dass die Struktur der Lichtquelle am Ende nicht mehr auf dem Bild zu erkennen war.

Durch das Einfügen einer Aperturblende lässt sich die Helligkeit und die Schärfe des Bildes einstellen. Dabei konnte man erkennen, dass bei kleineren Blendenöffnungen ein dunkleres, aber deutlich schärferes Bild entsteht. Aufgrund der überwiegend parallel einfallenden Strahlen bei den kleineren Blendenöffnungen kommt zwar insgesamt weniger Licht durch, jedoch werden auf diese Weise chromatische Fehler und Unschärfe an den Rändern vermindert.

Durch das Hinzufügen einer Leuchtfeldblende kann der ausgeleuchtete Bereich verändert werden. Sie musste im Aufbau so angeordnet werden, dass durch Veränderung der Öffnung die Helligkeit des Bildes nicht verändert wurde. Die Leuchtfeldblende stand dabei im Versuchsaufbau vor der Aperturblende.

Nach der ungefähren Anordnung durch Ausprobieren wurden im nächsten Teil die Bestandteile mit Hilfe der genauen Beschreibung in der Versuchsanleitung noch besser eingestellt, um die Beleuchtung zu optimieren. Dabei musste in diesem Fall nur noch wenig verstellt werden, da Schärfe und Farbverlauf schon davor beinahe ideal waren.

Mit diesem Aufbau wurde nun der Abbildungsmaßstab β des Objektivs durch Messen der Bildgröße B , der Gegenstandsweite g und der Bildweite b berechnet.

Danach wurden der Strahlteiler, das Okular und die Referenzskala nach den Angaben aus der Anleitung justiert. Der Strahlteiler wurde direkt hinter dem Okular angebracht. Nun sollten die grüne Millimeterskala auf der Rückseite des Schirms und die Referenzskala gleichzeitig von oben, im Abstand von etwa 2cm über dem Strahlteiler, betrachtet werden, um die Vergrößerung des Okulars zu messen. Dafür mussten beide Skalen scharf sein. In diesem Fall musste nichts nachjustiert werden, da beides auf Anhieb gut zu erkennen war.

Anschließend sollte die Gesamtvergrößerung des Mikroskops gemessen werden, indem der Schirm durch eine Mattscheibe ersetzt wurde. Mit der Mattscheibe war die Skala auf dem Gegenstand allerdings nicht scharf zu erkennen, weshalb für die Messung der Gesamtvergrößerung die Intensität des Lichts heruntergestellt und die Mattscheibe entfernt wurde. Auf diese Weise konnte man ein Bild beobachten. Es musste darauf geachtet werden, einen möglichst großen Bereich des Bilds mit der Referenzskala zu vergleichen, um den Fehler so gering wie möglich zu halten.

5 Auswertung

5.1 Reelles Zwischenbild

Zuerst soll das reelle Zwischenbild untersucht werden. Dazu werden die gegebene Gegenstandsgröße G und die gemessene Bildgröße B verwendet, um über $\beta = \frac{B}{G}$ die Vergrößerung β zu berechnen, die den Wert

$$\beta_1 = 20,0 \quad (5.1)$$

hat. Dabei war G über den Abstand zweier Striche der Skala gegeben mit $G = 1/20$ mm. Der Fehler s_β lässt sich dabei über

$$s_{\beta_1} = \frac{1}{G} \cdot s_B = 2,0 \quad (5.2)$$

ermitteln, was zu einem Ergebnis von

$$\beta_1 = 20,0 \pm 2,0 \quad (5.3)$$

führt, wobei hier als Ablesefehler für alle Größen ein Fehler von $s_b = s_g = s_B = 0,1$ cm gewählt wurde.

Zusätzlich wird noch die Vergrößerung über die Gegenstandsweite g und die Bildweite b berechnet und mit dem vorher erhaltenen Wert verglichen, wobei gilt

$$\beta = \frac{B}{G} = \frac{b}{g} . \quad (5.4)$$

Hierbei kommt man zu dem Ergebnis

$$\beta_2 = 20,1 \quad (5.5)$$

wobei der Fehler über

$$s_{\beta_2} = \sqrt{\left(\frac{s_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{s_g}{g}\right)^2} \cdot \beta = 0,5 \quad (5.6)$$

berechnet wird und es sich bei den einzelnen Fehlern um die oben genannten Ablesefehler handelt.

Dies führt zu einem Wert von

$$\beta_2 = 20,1 \pm 0,5 \quad (5.7)$$

für die Vergrößerung.

5.2 Vergrößerung durch das Okular

Als nächstes war die Okularvergrößerung V zu messen und mit der Lupenvergrößerung, gegeben durch Gleichung 2.4 zu vergleichen.

Zur Messung der Vergrößerung durch das Okular wurden die beiden übereinanderliegenden Skalen verglichen. Dabei wurden 16 graue Kästchen der Referenzskala in 5 grünen Kästchen, die durch das Okular vergrößert wurden, erfasst.

Dies führt zu einer Vergrößerung von

$$V_{Ok} = \frac{\text{graue Kästchen}}{\text{grüne Kästchen}} = \frac{16}{5} = 3,2 . \quad (5.8)$$

Dabei wurde eine Unsicherheit von einem grauen Kästchen festgelegt. Dies führt zu einem Fehler von

$$s_V = \frac{1}{5} \cdot s_{\text{grau}} = \frac{1}{5} = 0,2, \quad (5.9)$$

was eine Okularvergrößerung von

$$V_{Ok} = 3,2 \pm 0,2 \quad (5.10)$$

ergibt.

Der zum Vergleich über die Lupenvergrößerung berechnete Wert beträgt

$$V_L = \frac{s_0}{f} = \frac{250\text{mm}}{80\text{mm}} = 3,125, \quad (5.11)$$

wobei die Werte für s_0 und f gegeben waren.

5.3 Gesamtvergrößerung des Mikroskops

Als letztes ist die Gesamtvergrößerung des Mikroskops zu bestimmen, wozu eine Skala als Gegenstand im Mikroskop verwendet und mit der Referenzskala verglichen wurde.

Dabei befanden sich 6 Kästchen der Referenzskala zwischen zwei größeren Strichen, in deren Mitte noch ein kleiner Strich lag, auf der Skala des Gegenstands, sodass hier die doppelte Gegenstandsgröße betrachtet wird, die folglich $G = 1/10\text{mm}$ beträgt. Als Fehler wurde ein halbes Kästchen abgeschätzt.

Dies führt zu einer Gesamtvergrößerung des Mikroskops von

$$V_{m1} = \frac{6}{\frac{1}{10}} = 60 \quad (5.12)$$

mit einem Fehler von

$$s_{V_m} = 10 \cdot 0,5 = 5. \quad (5.13)$$

Die Gesamtvergrößerung beträgt somit

$$V_{m1} = 60 \pm 5. \quad (5.14)$$

Zum Vergleich bestimmt man zusätzlich die Gesamtvergrößerung, die sich über Gleichung 2.5 mithilfe der Okularvergrößerung und der Vergrößerung β berechnen lässt. Hierbei muss sich für eines der beiden vorher berechneten β entschieden werden, in diesem Fall wurde β_1 dafür gewählt. Es ergibt sich

$$V_{m2} = V \cdot \beta_1 = 3,2 \cdot 20,0 = 64,0. \quad (5.15)$$

Der dazugehörige Fehler ergibt sich über

$$s_{V_m} = \sqrt{\left(\frac{s_V}{V}\right)^2 + \left(\frac{s_\beta}{\beta}\right)^2} \cdot V_m = 7,6. \quad (5.16)$$

Die so bestimmte Gesamtvergrößerung beträgt damit

$$V_{m2} = 64,0 \pm 7,6. \quad (5.17)$$

6 Zusammenfassung und Diskussion

Reelles Zwischenbild

Die durch die Gegenstands- und Bildgröße berechnete Vergrößerung beträgt

$$\beta_1 = 20,0 \pm 2,0 \quad (6.1)$$

und stimmt innerhalb des einfachen Fehlerintervalls mit der Vergrößerung überein, die über die Gegenstands- und Bildweiten ermittelt wurde und den Wert

$$\beta_2 = 20,1 \pm 0,5 \quad (6.2)$$

hat.

Vergrößerung durch das Okular

Die gemessene Okularvergrößerung ist

$$V_{Ok} = 3,2 \pm 0,2 \quad (6.3)$$

Der zum Vergleich über die Lupenvergrößerung berechnete Wert beträgt

$$V_L = 3,1 \quad (6.4)$$

und entspricht dem der gemessenen Okularvergrößerung innerhalb eines Fehlerbereichs. Dabei war die Okularvergrößerung eher schwer zu messen, da das Betrachten der beiden Skalen sowie das Abzählen der Kästchen aufgrund des verschwimmenden Bilds durch das Auge teilweise ungenau erschien. Trotzdem stimmen die Ergebnisse gut miteinander überein.

Gesamtvergrößerung des Mikroskops

Die durch den direkten Vergleich der Strichskala mit dem Millimeterpapier bestimmte Gesamtvergrößerung beträgt

$$V_{m_1} = 60 \pm 5 \quad (6.5)$$

Dies wird mit der Gesamtvergrößerung verglichen, die über V_{Ok} und β berechnet wurde und den Wert

$$V_{m_2} = 64,0 \pm 7,6 \quad (6.6)$$

hat. Diese beiden Ergebnisse entsprechen einander innerhalb des einfachen Fehlerintervalls, obwohl die Messung der Gesamtvergrößerung eher ungenau und anspruchsvoll erschien, da man die beiden Skalen nur schwer ohne Verschiebung übereinander legen konnte.

7 Literatur

- [1] Versuchsaufbau
Anleitung Versuch 75.

8 Anhang

Versuch (75) 19.12.2018

Leeres Zwischenbild

Messen von B : (Abstand zwischen zwei Linien)

$(B = 8 \text{ mm})$ $S_B = 1 \text{ mm}$ $B = 8,5 \text{ mm} - 1 \text{ cm}$
(keine Gegenstände) (Abstand von 10 Strichen)
 ≈ 10 Wästelchen bei 10 Strichen

Messen der Gegenstandsweite:

$(g = 3,8 \text{ cm})$ $S_g = 0,4 \text{ cm}$ $g = 4,2 \text{ cm}$

Messen der Bildweite:

$b = 8,6 \text{ cm}$ $S_b = 0,1 \text{ cm}$

Vergleichung durch das Auge

in 5 grünen Wästelchen liegen ¹⁶ 8 graue

Fehler auf graue Wästelchen: ± 1 (Wästelchen)

$V = \frac{16}{5} = 3,2 \pm \frac{1}{5}$ $V = \frac{16}{5} = 3,2 \pm \frac{1}{5}$

Gesamtvergrößerung des Mikroskops

6 Wästelchen zwischen zwei Strichen $\approx \frac{1}{2} \text{ mm}$

kein Fehler $\pm 0,5$ Wästelchen

$k_m = \frac{6}{1/6} = 60 \pm 5$

Vergleichen mit Lupenvergrößerung:

$V_{\text{Lup}} = \frac{S}{f} = \frac{22 \text{ mm}}{8 \text{ mm}} = 3,25$

