

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
1.1	Ziel des Versuchs	2
1.2	Physikalische Grundlagen	2
1.3	Versuchsaufbau	10
1.4	Versuchsdurchführung	13
2	Messungen	15
3	Auswertung	16
3.1	Aufgabe 2: Abbildung mit dem Objektiv	16
3.2	Aufgabe 4: Messung der Gesamtvergrößerung und Bestimmung der Okularvergrößerung	16
3.3	Aufgabe 5: Einfluss einer Strahlenbündelbegrenzung auf die Auflösung des Mikroskops	17
4	Zusammenfassung und Diskussion	18
5	Anhang	20

1 Einleitung

1.1 Ziel des Versuchs

Der Strahlengang eines selbst aufgebauten Modell-Mikroskops soll untersucht und die Vergrößerung sowie die Auflösung quantitativ bestimmt werden.

ok

1.2 Physikalische Grundlagen

Wir benutzen für diesen Versuch das linkshändige Koordinatensystem, bei dem es für die gegenstands- bzw. bildbezogenen Größen je ein linkshändiges Koordinatensystem gibt, die beide gegeneinander um 180° gedreht sind. Die Gegenstandsweite g sowie die Bildweite b werden von der zugehörigen Hauptebene der Linsen aus gezählt, g positiv nach links und b positiv nach rechts. Die Richtung eines Gegenstands senkrecht zur Achse wird positiv nach oben und die eines Bildes positiv nach unten gezählt. Durch

$$\beta = \frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad (1)$$

wird der Abbildungsmaßstab β definiert, wobei G die Gegenstandsgröße und B die Bildgröße angibt.

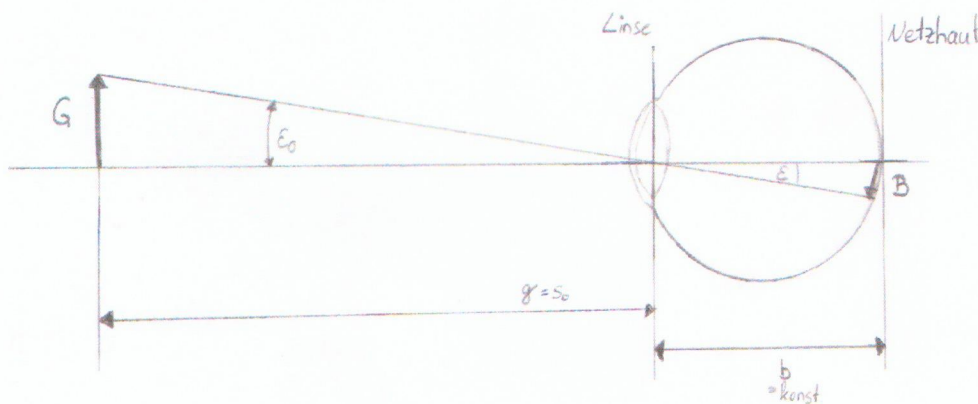


Abbildung 1: Abbildung durch das Auge

Im Auge werden Gegenstände durch die Linse auf der Netzhaut abgebildet.

Durch eine Sammellinse (Objektiv) wird im Mikroskop ein reelles, vergrößertes Bild eines Objekts erzeugt. Mit Hilfe einer weiteren Sammellinse (Okular) wird daraus ein virtuelles Bild erzeugt, dass das Auge stark vergrößert wahrnimmt.

Das Auge nimmt Bilder mit Seh winkeln $\epsilon = \arctan\left(\frac{B}{b}\right)$ wahr, wodurch die Vergrößerung V durch optische Instrumenten, zB. von einem Mikroskops, durch

$$V = \frac{\text{Sehwinkel mit Instrument}}{\text{Sehwinkel ohne Instrument}} = \frac{\tan \epsilon}{\tan \epsilon_0} = \frac{B}{B_0} \quad (2)$$

definiert ist.

ok

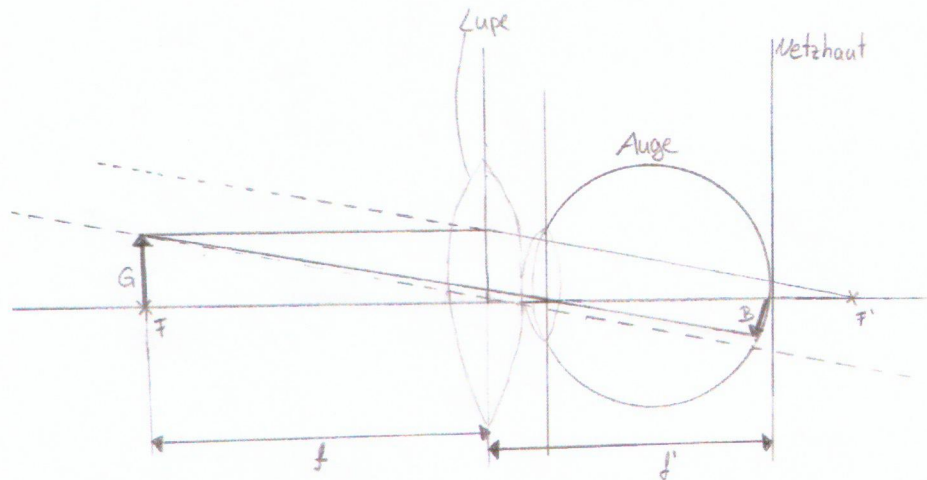


Abbildung 2: virtuelles Bild im Unendlichen

Befindet sich das Objekt in der Brennebene der Lupe, entsteht im unendlichen ein virtuelles Bild. Dies liegt an den parallelen Strahlen die sich nie kreuzen. Ist dies der Fall, so ist der Abstand vom Auge zur Lupe irrelevant und die Brennweite des Auges ändert sich. Für die Vergrößerung folgt dann:

$$V_{\infty} = \frac{\tan \epsilon}{\tan \epsilon_0} = \frac{G/f}{G/s_0} = \frac{s_0}{f} \quad \text{ob} \quad (3)$$

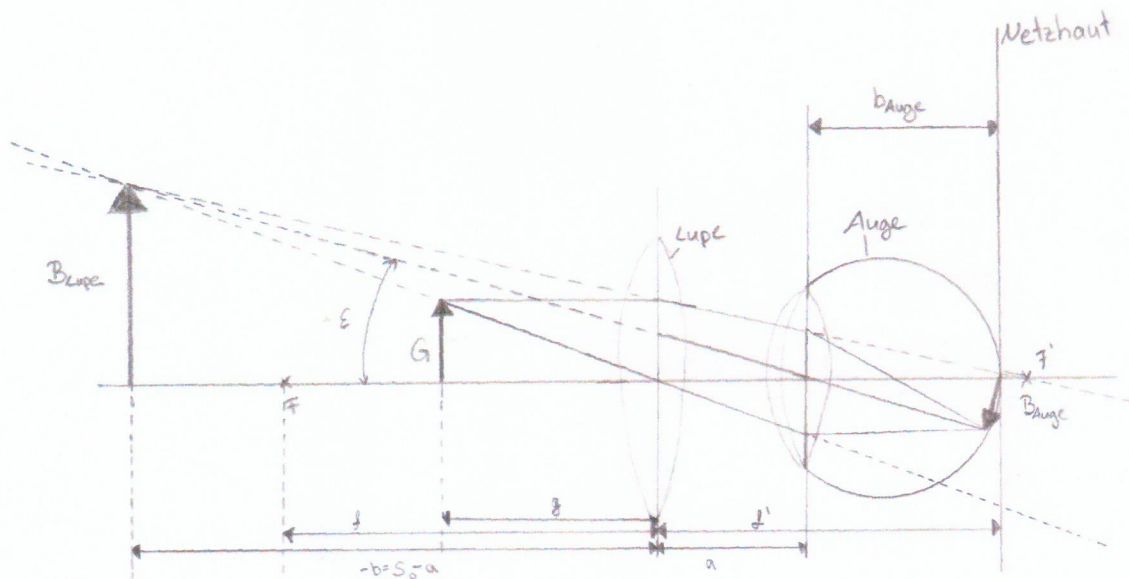


Abbildung 3: Bild in deutlicher Sehweite

Das Okular in einem Mikroskop funktioniert wie eine Lupe mit der Brennweite f . Befindet sich ein Objekt G zwischen der Lupe und deren Brennpunkt so ergibt sich ein endlich entferntes, virtuelles Bild B . Entsteht ein virtuelle Bild in der deutlichen Sehweite s_0 , so wie es im Mikroskop

der Fall ist, dann gilt für die Vergrößerung einer Lupe:

$$V_{s_0,a} = \frac{s_0 - a}{f} + 1 = \frac{\tan \epsilon}{\tan \epsilon_0} = -\frac{B_{Lupe}/s_0}{G/s_0} = -\frac{B_{Lupe}}{G} = -\frac{b}{g} = \frac{s_0 - a}{g} \stackrel{f \approx a}{\underset{\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}}{=}} \frac{s_0}{f} = V_{ok} \quad (4)$$

a gibt dabei den Abstand zwischen Lupe und Auge an, der in unserem Fall in etwa der Lupenbrennweite f entspricht. Die Vergrößerung verringert sich mit wachsendem Abstand des Auges von der Lupe, wenn das virtuelle Bild in der deutlichen Sehweite vom Auge bei 25cm entsteht. Da im Mikroskop das Objekt zuerst durch das Objektiv vergrößert wird, ist die Gesamtvergrößerung durch

$$V_{ges} = -\frac{b_{obj}}{g_{obj}} \cdot \frac{s_0}{g_{ok}} = -\beta_{obj} \cdot V_{ok} \quad (5)$$

gegeben, wobei b_{obj} die Bildweite im Objektiv, g_{obj} die Gegenstandsweite im Objektiv, g_{ok} die Gegenstandsweite im Okular und β_{obj} als Abbildungsmaßstab des Objektivs angeben. Der Abbildungsmaßstab β_{obj} kann auch über die Brennweite f_{obj} des Objektivs und die Tubuslänge Δ , der Abstand zwischen dem bildseitigen Brennpunkt des Objektivs und dem Zwischenbild, mit

$$\beta_{obj} = b_{obj} \left(\frac{1}{f_{obj}} - \frac{1}{b_{obj}} \right) = \frac{b_{obj}}{f_{obj}} - 1 = \frac{\Delta}{f_{obj}} \quad (6)$$

bestimmt werden.

In der nachfolgenden Abbildung werden diese Größen verdeutlicht.

ok

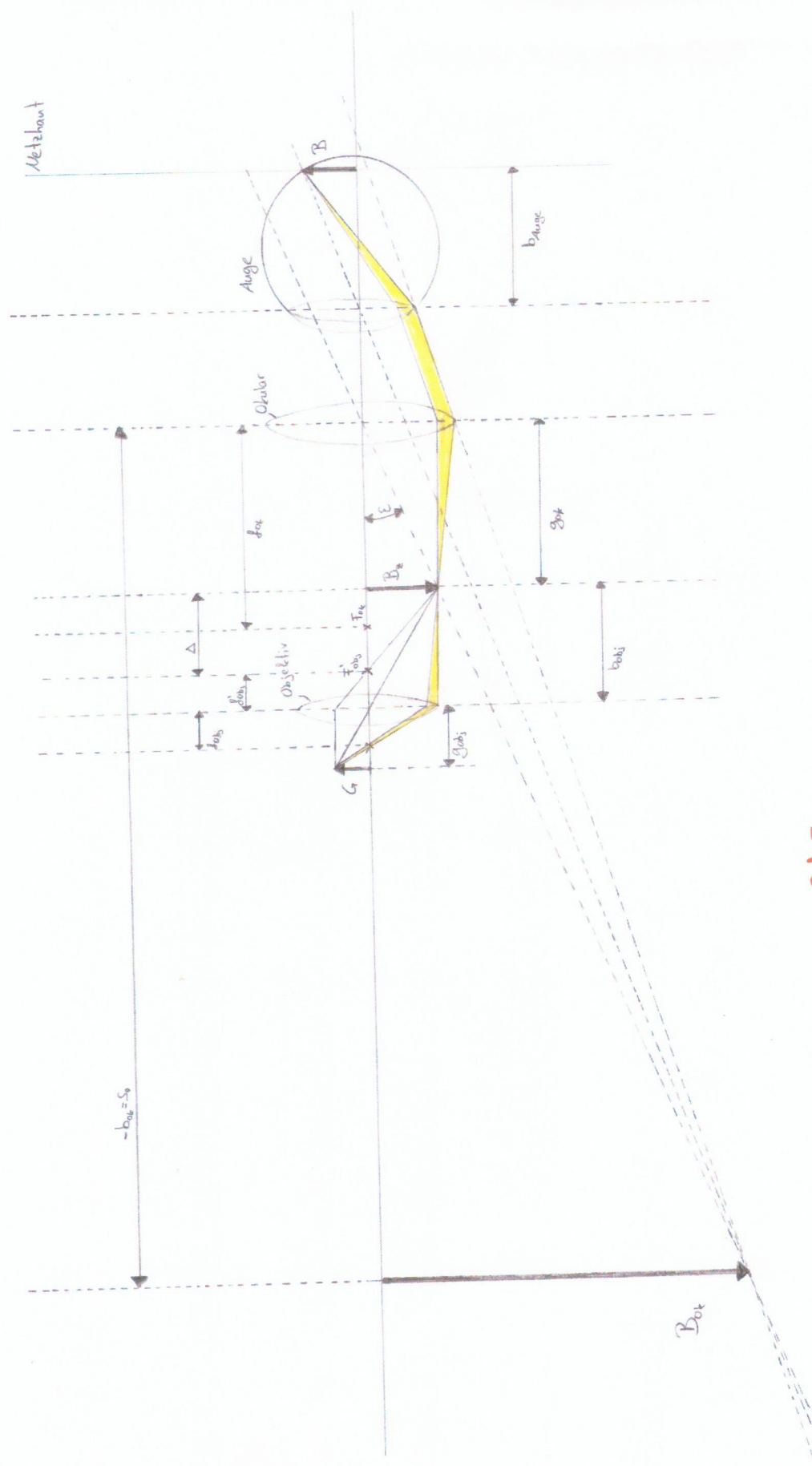


Abbildung 4: Abbildungsstrahlengang im Modell-Mikroskop

Der Beleuchtungs- und Abbildungsstrahlengang kann mit Hilfe der beiden Blenden verändert werden. Die Aperturblende bestimmt die Intensität sowie die (Tiefen-)scharfe und den Kontrast des Bildes. Die Größe des Gesichtsfeldes wird hingegen durch die Leuchtfeldblende bestimmt. Da an dem Objekt Beugung stattfindet, kann dies nicht unendlich genau aufgelöst werden. Betrachtet man die Beugung an einem Gitter so gilt

$$\sin \alpha_k = \frac{k\lambda}{g} \quad (7)$$

für die Interferenz, wobei $k=0,1,2,3,\dots$ die Ordnung des Interferenzmaxima, α_k den Beugungswinkel, λ die Wellenlänge des Lichts und g den Gitterspaltabstand angibt.

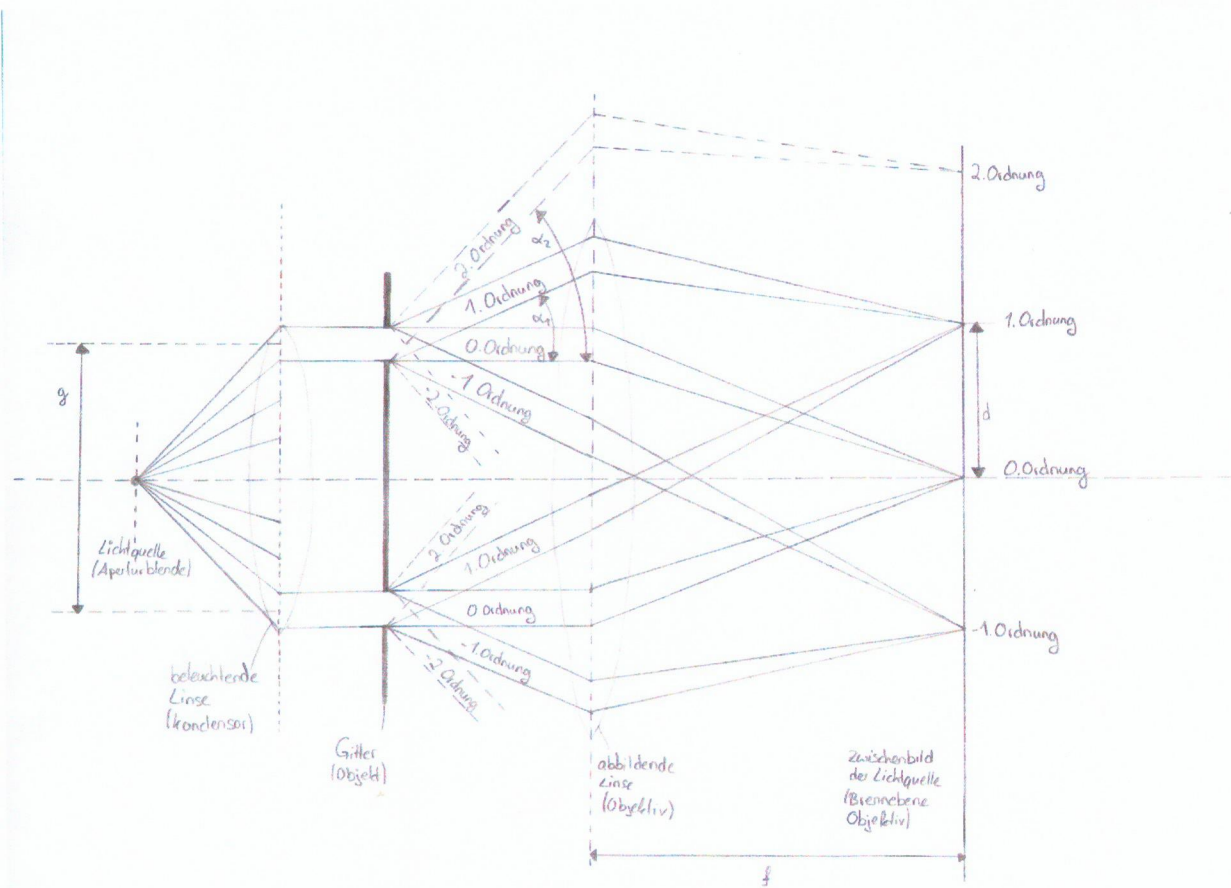


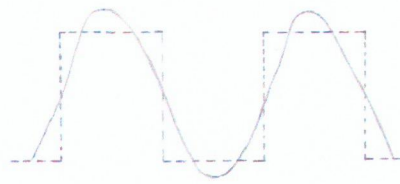
Abbildung 5: Beugung am Gitter

Für den Abstand d , der Interferenzmaxima zum nullten Hauptmaximum, ergibt sich mit $\tan \alpha_k = \sin \alpha_k$

$$d = f \cdot \frac{\lambda}{g} \quad (8)$$

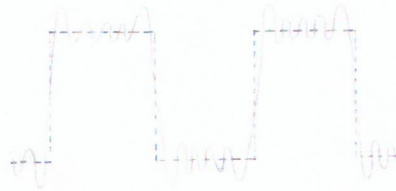
Strahlen aus unterschiedlichen Ordnungen interferieren miteinander, sodass sowohl helle als auch dunkle Zonen erscheinen. Umso mehr Ordnungen zur Bildentstehung beitragen, desto deutlicher wird das Bild.

OK



Mitnahme der Beugungsmaxima
bis zur

1. Ordnung



5. Ordnung

Abbildung 6: Intensitätsverteilung im Bild eines kohärent beleuchteten Strichgitters

Somit ist das Auflösungsvermögen eines Mikroskops durch

$$g_{min} = \frac{\lambda}{\sin u} = \frac{\lambda_0}{n \cdot \sin u} \quad (9)$$

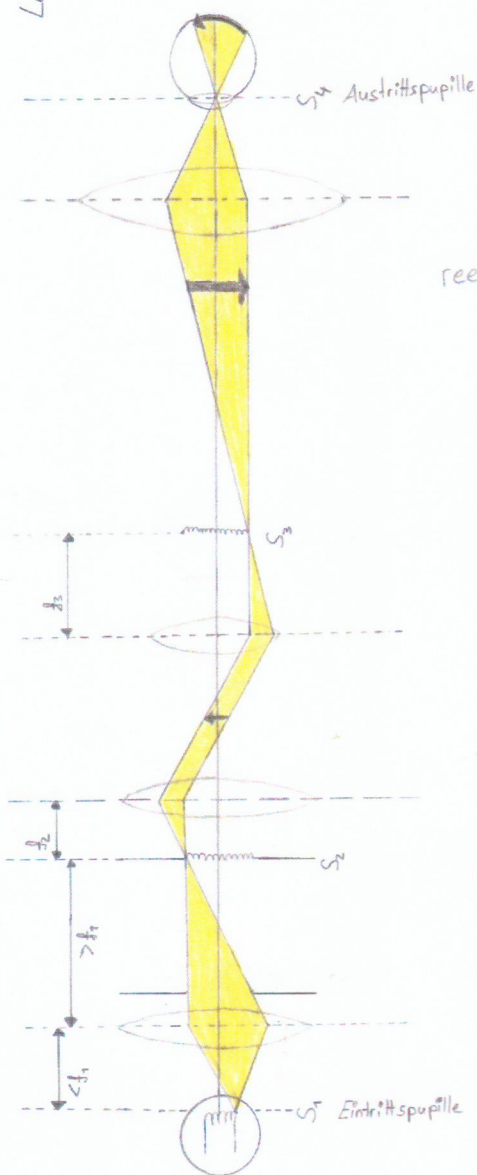
begrenzt. Dabei gibt g_{min} die kleinst mögliche auflösbare Gitterkonstante, λ die Wellenlänge des Lichts im Vakuum, λ_0 die Wellenlänge im Medium mit dem Brechungsindex n und u den größten halben Öffnungswinkel der Strahlen 1. Ordnung an. Sobald die Blendöffnung kleiner als d ist, verschwindet das Bild ganz.

Um bei einem Lichtmikroskop ein Gegenstand scharf einzustellen besitzt es einen Grob- sowie Feintrieb. Für die Vergrößerung sind der Tubus, das Objektiv sowie das Okular zuständig. Die wesentliche dritte Einheit aus der ein Lichtmikroskop besteht, ist der Beleuchtungsapparat, der sich aus der Lichtquelle, Kollektorlinse, Leuchtfeldblende, Kondensorlinse und Aperturblende zusammensetzt.

Da wir ein gutes Bild erreichen wollen, versuchen wir eine homogene Ausleuchtung des Objektfeldes. Dies bedeutet, dass jeder Punkt der Lichtquelle das ganze Objektfeld unter dem gleichen Winkel, also unter parallelem Strahlenverlauf, ausleuchtet und dass alle Strahlen, die in einem Punkt zusammenlaufen und von dort unter verschiedenen Winkeln wieder auslaufen, die Lampe unter dem gleichen Winkel, also untereinander parallel, verlassen.

da

Lage der Pupillen (Beleuchtungsstrahlengang)



Auge
Okular
reelles Zwischenbild

Objektiv
Objekt
Kondensorlinse
Aperturblende

Leuchtfeldblende
Kollektorlinse
Lichtquelle

Lage der Luken (Abbildungsstrahlengang)

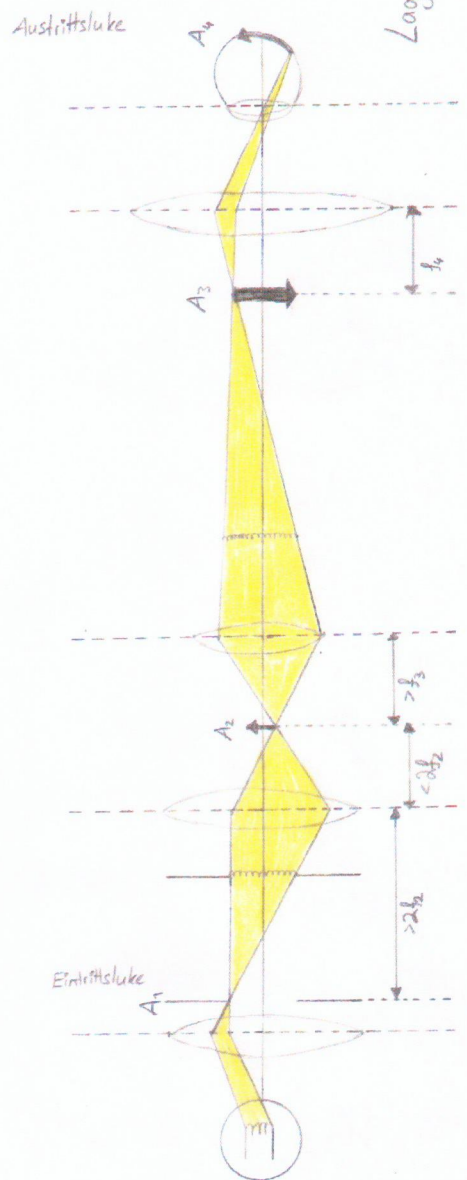


Abbildung 7: Pupillen- und Lukenstrahlengang

Es gibt zwei verschiedene Strahlengänge, den Pupillenstrahlengang, dieser ist der beleuchtete Strahlengang und den Lukenstrahlengang, dieser ist der abbildende Strahlengang, wie in Abbildung 7 zu sehen. Die Bilder der Lichtquelle sollten im Beleuchtungsstrahlengang in der hinteren Brennebene des Objektivs und der vorderen Brennebene der Kondensorlinse liegen damit sie die Abbildung des Objekts nicht stören.

Für die Standardabweichung s rechnen wir mit

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

wobei

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (11)$$

den Mittelwert angibt.

ok

1.3 Versuchsaufbau

Aufgabe 1:

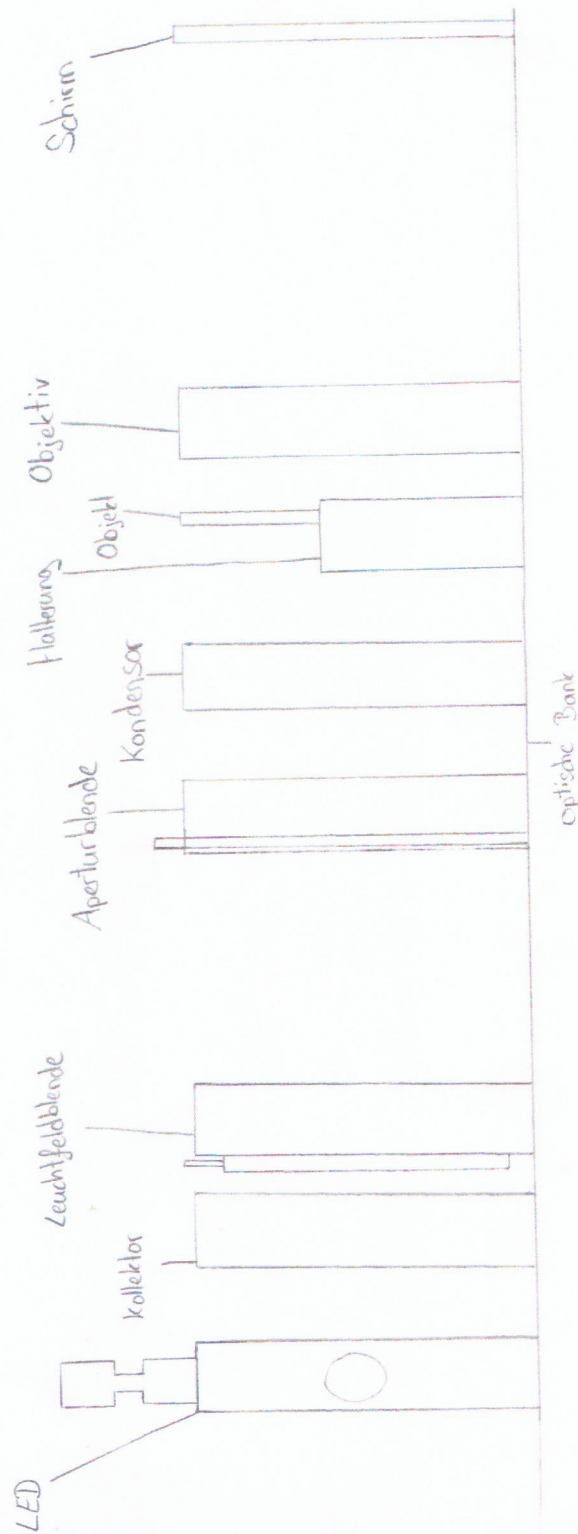


Abbildung 8: Versuchsaufbau 1

Wie dies genau aufgebaut wird, wird in der Durchführung beschrieben.

Aufgabe 2:

Wie in Aufgabe 1.

Aufgabe 3:

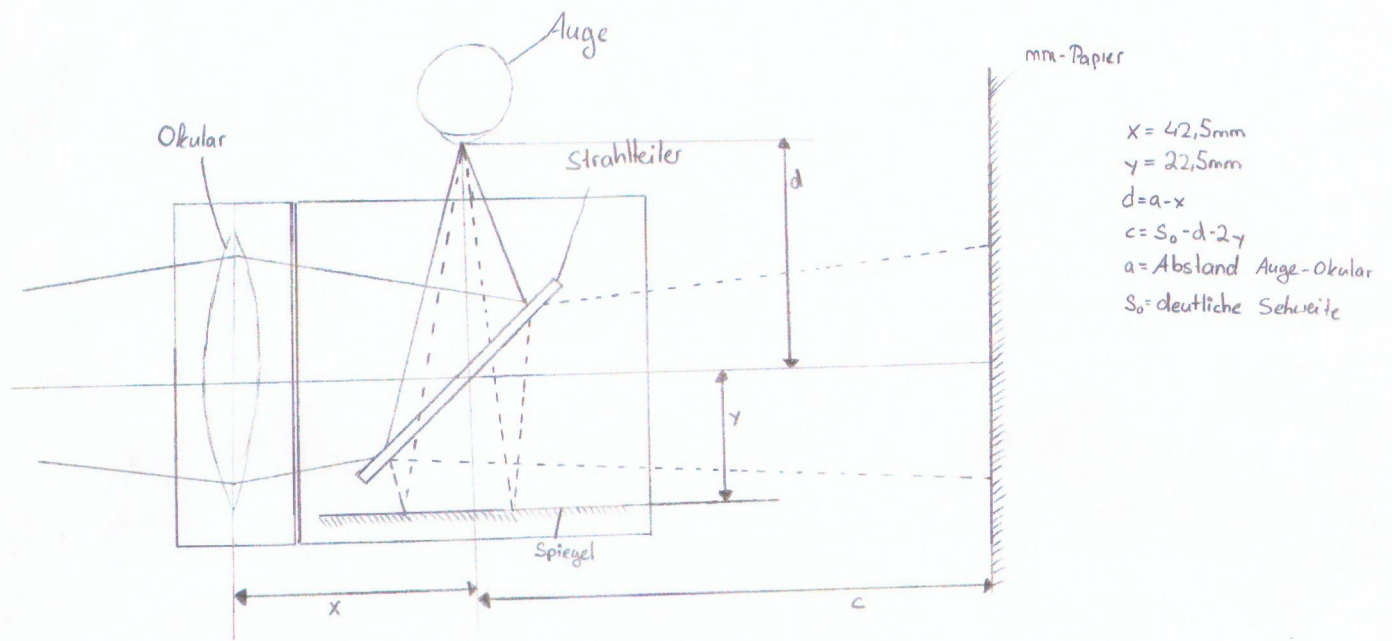


Abbildung 9: Versuchsaufbau 3: hinterer Teil

Der Aufbau des hinteren Teils wird in der Durchführung beschrieben.

Aufgabe 4:

Wie in Aufgabe 3.

Aufgabe 5:

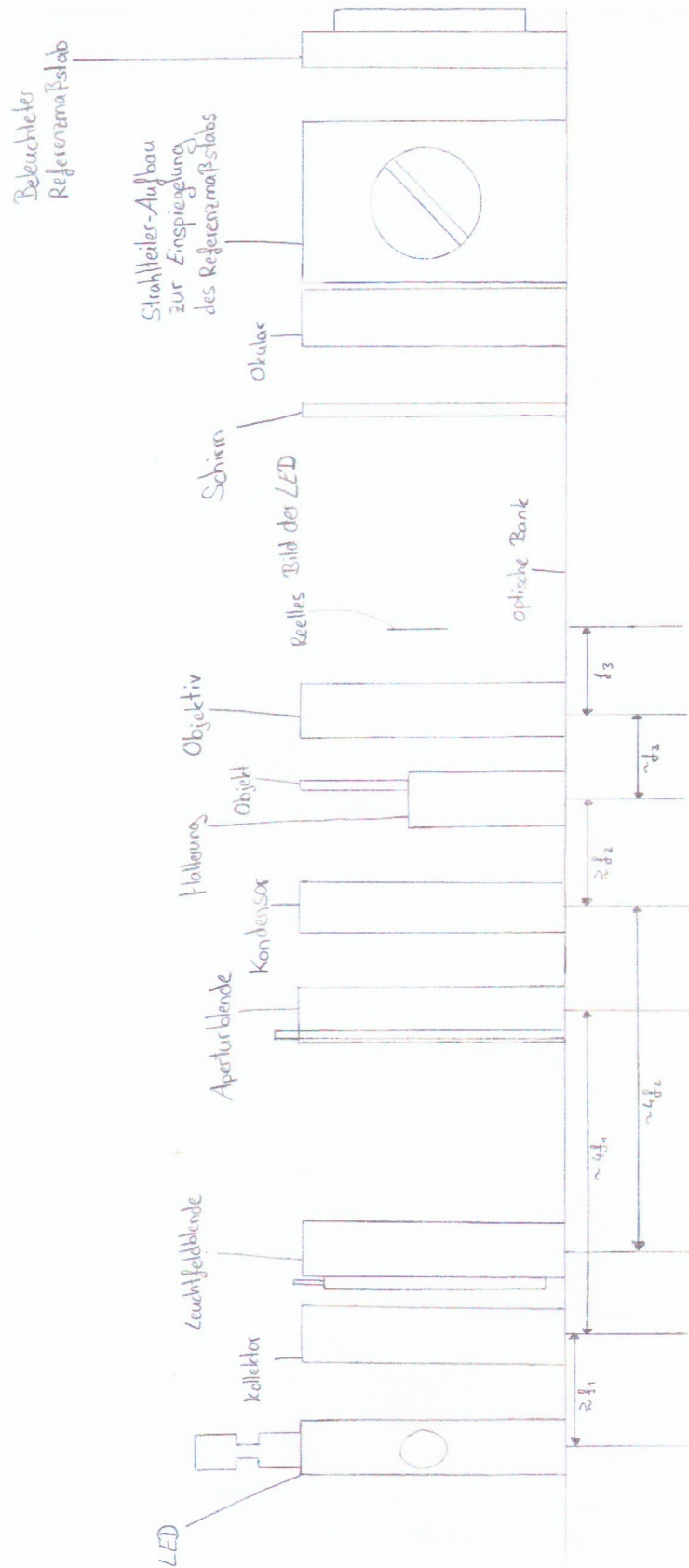


Abbildung 10: Versuchsaufbau 5: Mit Spalt an der Stelle des reellen Bildes der LED

1.4 Versuchsdurchführung

Aufgabe 1:

Bei diesem Versuchsteil wird das Mikroskop auf der optischen Bank schrittweise angebracht. Dazu wird zuerst die Lichtquelle, eine weiße LED, auf der optischen Achse befestigt. Danach werden die Objektivlinse ($f_3 = 40\text{mm}$) und der weiße Schirm, die durch eine Metallstange, welche die Tubuslänge definiert, verbunden sind, auf die optischen Achse montiert. Nun wird die LED mit Hilfe der Objektivlinse auf dem Schirm abgebildet und dann durch justieren zentriert. Nachdem die LED zentriert ist, wird die Objektivlinse mit dem Schirm an das Ende der optischen Bank geschoben und die Kollektorlinse ($f_1 = 40\text{mm}$) hinter die LED gebaut. Anschließend wird die Aperturblende hinter die Kollektorlinse gebaut. Durch verschieben der Kollektorlinse, bis die LED auf der Aperturblende vergrößert, aber dennoch kaum größer als die größte Öffnung der Aperturblende, und scharf dargestellt wird, lässt sich die Entfernung zwischen der Kollektorlinse und der Aperturblende einstellen, welche etwa die vierfache Brennweite der Kollektorlinse beträgt. Danach wird die Leuchtfeldblende dicht hinter die Kollektorlinse gebaut, so dass der Verstellhebel noch gut bedienbar ist. Um den Bau des Beleuchtungsapparats fertig zustellen muss noch die Kondensorlinse ($f_2 = 40\text{mm}$) hinter die Aperturblende, 40mm entfernt eingebaut werden. Um zu untersuchen ob der Strahlengang nach der Kondensorlinse auch wirklich parallel verläuft, wird ein Blatt Papier zwischen der Linse und dem Schirm geführt. Für die Aperturblende wird dann eine mittlere Blende ausgewählt. Hinter die Kondensorlinse wird nun ein Dreifach-Filterhalter eingebaut, in dem im letzten Fach ein weißer Miniaturschirm steckt. Die Halterung wird dann so lange verschoben, bis die Lamellen der halb geöffneten Leuchtfeldblende durch die Kondensorlinse verkleinert auf dem Miniaturschirm scharf abgebildet werden. Danach wird der Miniaturschirm durch das eigentliche Objekt, eine Strichskala, welche auf der lichtzugewandten Seite des Objekts liegt, ersetzt.

Nun wird die Objektivlinse solange verschoben bis die Strichskala scharf auf dem Schirm zu erkennen ist.

ok

Aufgabe 2:

Zuerst messen wir nun auf dem weißen Schirm mit dem Lineal B_z , den Abstand der Linien von den Zahlen 1 bis 3 und notieren dies. Die Gegenstandshöhe dieses Abstands ist durch 2mm und die Brennweite des Objekts ist zu $f_{obj} = f_3 = 40\text{mm}$ gegeben. Die Bildweite ist auch schon durch die Metallstange zwischen dem Objektiv und dem Schirm, also der Tubuslänge von 840mm gegeben.

Aufgabe 3:

Zu Beginn wird der weiße Schirm durch den Transparenten ersetzt. Bei dieser Aufgabe wird danach ein Okular $f_4 = 80\text{mm}$ und ein Strahlteilerwürfel eingebaut. Die beiden werden so nah wie möglich aneinander geschoben und anschließend so weit verschoben bis das Bild der Skala das man im Strahlteilerwürfel von oben wahrnehmen kann scharf wird. Nun wird ein kurzes Rohr, in dem sich mm-Papier befindet, dahinter angebracht und auch solange verschoben bis das Bild der Skala und des mm-Papiers in einer Ebene befinden.

Aufgabe 4:

Zuerst wird hier der Abstand zwischen dem mm-Papier und dem Strahlteilerwürfel notiert. Danach wird das Offset zwischen dem Okular und dem Würfel gemessen und dazu der Abstand zwischen der Hauptebene des Okulars und der Mitte des Strahlteilers addiert, die in der Versuchsanleitung zu 42,5mm angegeben werden. Die Gegenstandsgröße wird auch in der Versuchsanleitung angegeben, wodurch wir die zugehörige Bildweite einmal mit und einmal ohne transparenten Schirm durch ablesen, wie im Versuchsaufbau gezeigt, angeben können.

ok

Aufgabe 5:

Die Skala wird nun durch ein Gitter ersetzt. In die bildseitige Brennebene des Objektivs wird nun ein vertikaler Spalt angebracht. Durch diesen Spalt werden nur noch wenige Lichtstrahlen durchgelassen. Zuerst beträgt die Spaltbreite ca. 2mm dann wird er langsam kleiner gemacht bis die vertikalen Linien verschwinden. Dann wird wieder die Bildweite zu der bekannten Gegenstandsgröße bestimmt. Der Abstand d der Spaltbreite kann dann mit Hilfe des Mikroskops bestimmt werden.

ok

2 Messungen

22.02.17

B. Messungen

Versuch 75

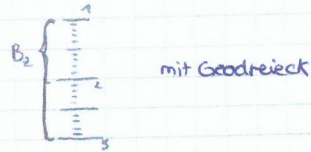
Aufgabe 2: Abbildung mit Objektiv

Bildhöhe $B_2 = \overset{3,9}{\cancel{3,9}} \pm 0,05 \text{ cm}$ von 1-3 gemessen

Gegenstandshöhe $G = 2 \text{ mm}$

Bildweite $b_{\text{obj}} = 840 \text{ mm}$

Brennweite $f_{\text{obj}} = f_3 = 40 \text{ mm}$



(minimaler Parallaxenfehler vorhanden)

Blenden auf korrekte Funktion getestet.

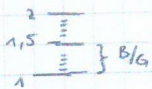
Aufgabe 4: Messung der Gesamtvergrößerung, Bestimmung der Okularvergrößerung

$C = \underbrace{32,5 \text{ mm}}_{\substack{\text{halbe Kanten} \\ \text{länge des} \\ \text{Würfels}}} (13,7 \pm 0,05) \text{ mm} = \cancel{(46,2 \pm 0,05) \text{ mm}} (69,5 \pm 0,05) \text{ mm}$

$X = 42,5 \text{ mm} + \underbrace{1 \text{ mm}}_{\text{Offset}} = 43,5 \text{ mm}$

$y = 22,5 \text{ mm}$

	mit Mattscheibe	ohne Mattscheibe	$s_B = 0,5 \text{ mm}$
B	31 mm 31 mm	31,5 mm	
G	0,5 mm	0,5 mm	



Aufgabe 5: Einfluss einer Strahlenbündelbegrenzung auf die Auflösung des Mikroskops

durch Okular $B_{\text{Gitter}} = 13 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ (Gitterkonstante) $n = 1 \text{ Linie}$

$G = 0,05 \text{ mm}$

$d_{\text{Spalt}} = (5 \pm 0,5) \text{ mm}$

V.T. $s_{\text{Gitter}} = \text{Rek. Konst}$

3 Auswertung

Hinweis: Alle Tabellen wurden mit Excel 2013 erstellt.

3.1 Aufgabe 2: Abbildung mit dem Objektiv

Wir haben auf der Mattscheibe mit dem Geodreieck den Abstand der Ziffern 1 bis 3 der Skala gemessen und erhielten eine Bildhöhe von $B_z = (3,9 \pm 0,5)\text{cm}$.

Mit der dazugehörigen Gegenstandshöhe von $G = 2\text{mm}$.

Daraus können wir Anhand von FORMELBETAB/G den Abbildungsmaßstab des Zwischenbildes

$$\beta_{obj} = 19,5 \pm 0,3 \quad \rightarrow \text{ist ok, Latex-Feld}$$

bestimmen.

Der dazugehörige Fehler berechnet sich über $s_{\beta_{obj}} = \beta_{obj} \frac{s_{B_z}}{B_z}$.

Mithilfe des Abbildungsmaßstabs und der Bildweite $b = 840\text{mm}$, die der Entfernung zwischen Objektiv und Mattscheibe entspricht, können wir nun die Brennweite des Objektivs mit Formel (5) berechnen.

$$f_{obj} = \frac{b_{obj}}{\beta_{obj} + 1} = (41,0 \pm 0,5)\text{mm}$$

Dabei berechnen wir den Fehler mit $s_{f_{obj}} = f_{obj} \frac{s_{\beta_{obj}}}{\beta_{obj} + 1}$, wobei wir wie auch oben bei G den Fehler der Bildweite vernachlässigen, da dieser nicht signifikant ist.

Vergleicht man den oben berechneten Wert der Brennweite mit dem nominellen Wert des Objektivs von $f_3 = 40\text{mm}$, entspricht dies genau einer Abweichung von 2σ . ok

3.2 Aufgabe 4: Messung der Gesamtvergrößerung und Bestimmung der Okularvergrößerung

Um die Gesamtvergrößerung V_{ges} zu bestimmen, haben wir die Bildhöhe der Ziffernskala von 1 bis 1,5 einmal mit der Mattscheibe und einmal ohne Mattscheibe mit Hilfe des Millimeterpapiers durch das Okular gemessen.

	mit Mattscheibe	ohne Mattscheibe
B	31mm	31,5mm
G	0,5mm	0,5mm
s_B	0,5mm	

Abbildung 11: Messwerte Aufgabe 4

Die Gesamtvergrößerung des Mikroskops lässt sich also durch das Verhältnis der Größe der Abbildung mit der Originalgröße berechnen. Aufgrund der Vorzeichenkonvention, geht die vergrößerte Abbildung jedoch mit negativem Vorzeichen in die Rechnung ein.

$$V_{ges} = -\frac{B}{G}$$

Somit erhalten wir für die zwei Fälle für die Gesamtvergrößerung

$$\begin{aligned} V_{gesmit} &= 62 \pm 1 \\ V_{gesohne} &= 63 \pm 1, \end{aligned} \quad \text{ok}$$

wobei die Fehler durch $s_{V_{ges}} = V_{ges} \frac{s_B}{B}$ berechnet wurden. Aus diesen Werten bilden wir nun (10) und (9) den Mittelwert und dessen Standardabweichung

$$\overline{V_{ges}} = 62,5 \pm 0,7,$$

über die wir zusammen mit β_{obj} die Vergrößerung des Okulars mit Formel (4) berechnen können. Deshalb folgt für die Vergrößerung des Okulars

$$V_{ok} = 3,21 \pm 0,05,$$

wobei wieder zu beachten war, dass β_{obj} hier wegen Vorzeichenkonvention mit negativem Vorzeichen eingeht. Dabei wurde der Fehler über $s_{V_{ok}} = V_{ok} \sqrt{\left(\frac{s_{V_{ges}}}{V_{ges}}\right)^2 + \left(\frac{s_{\beta_{obj}}}{\beta_{obj}}\right)^2}$ berechnet.

Nun können wir auch die Brennweite des Okulars aus Formel (3)

$$f_{ok} = \frac{s_o - a}{V_{ok}} = \frac{c + 2,5\text{mm}}{V_{ok} - 1} = (78 \pm 2)\text{mm},$$

mit $c = (169,5 \pm 0,5)\text{mm}$ herleiten. Wobei $s_{f_{ok}} = f_{ok} \sqrt{\left(\frac{s_c}{c+2,5\text{mm}}\right)^2 + \left(\frac{s_{V_{ok}}}{V_{ok}-1}\right)^2}$ dem Fehler entspricht.

Dies stimmt innerhalb der Fehlertoleranz mit dem realen Wert $f_A = f_{ok} = 80\text{mm}$ überein. ok

3.3 Aufgabe 5: Einfluss einer Strahlenbündelbegrenzung auf die Auflösung des Mikroskops

Zuerst haben wir die reale Gitterkonstante mit Hilfe von β_{obj} bestimmt. Dazu setzen wir unseren am Okular gemessenen Wert $B = (13 \pm 0,5)\text{mm}$ in die aus (5) hergeleitete Formel ein. Der Fehler wird über $s_g = g \sqrt{\left(\frac{s_B}{B}\right)^2 + \left(\frac{s_{\beta}}{\beta}\right)^2}$ berechnet. Somit folgt für die Gitterkonstante:

$$g = \frac{B}{\beta_{obj}} = (0,67 \pm 0,03)\text{mm}.$$

Als Nächstes berechnen wir die originale Breite des Spaltes. Dafür setzen wir unseren durch das Okular gemessenen Wert in die aus (3) hergeleitete Formel:

$$V_{ges} = -\frac{d_{spalte}}{d_{orig}}$$

$$\Leftrightarrow d_{orig} = -\frac{d_{spalte}}{V_{ges}} = (0,080 \pm 0,008)\text{mm}$$

Wobei der Fehler sich aus $s_{d_{orig}} = d_{orig} \sqrt{\left(\frac{s_{d_{spalte}}}{d_{spalte}}\right)^2 + \left(\frac{s_{V_{ges}}}{V_{ges}}\right)^2}$ berechnet.

Zum Vergleich soll nun aus der Theorie mit Hilfe von (7) die Spaltbreite

$$d_{theo} = f_{ok} \frac{\lambda}{g} = (0,064 \pm 0,003)\text{mm}$$

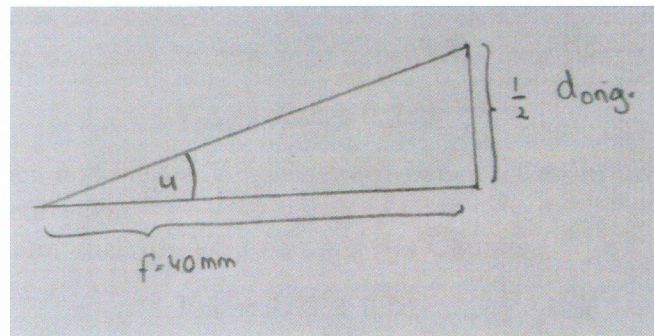
berechnet werden, wobei die Wellenlänge nach der Versuchsanleitung $\lambda = 550\text{nm}$ entspricht. Der Fehler wurde hier durch $s_{d_{theo}} = d_{theo} \sqrt{\left(\frac{s_{f_{ok}}}{f_{ok}}\right)^2 + \left(\frac{s_g}{g}\right)^2}$ bestimmt.

Somit liegt der gemessene Wert im 2σ -Bereich des theoretischen Werts d_{theo} . ok

Um die Auflösung des Mikroskops zu bestimmen, berechnen wir die minimale noch darstellbare Gitterkonstante g_{min} . Diese kann über (8) mit Hilfe von

$$g_{min} = \frac{\lambda}{\tan(u)} \approx \frac{\lambda}{\sin(u)} \approx \frac{\lambda}{u}$$

berechnet werden. Die dafür benötigten Geometrien sind der Zeichnung zu entnehmen.



$$\rightarrow g_{min} = \lambda u \frac{180^\circ}{\pi} = 0,0098 \text{ mm}$$

Mit $u = \frac{0,5d_{obj}}{f}$ und $f = 40 \text{ mm}$. Der Fehler wird schrittweise über den Fehler $s_u = \frac{1}{2f} s_{d_{obj}} \frac{180^\circ}{\pi} = 0,006 \text{ mm}$ berechnet:

$$s_{g_{min}} = g_{min} \frac{s_u}{u} = 0,001 \text{ mm}$$

ok

4 Zusammenfassung und Diskussion

Aufgabe 2

Für den Abbildungsmaßstab des Objektivs erhalten wir

$$\beta_{obj} = 19,5 \pm 0,3.$$

Mit diesem Wert konnten wir die Brennweite des Objektivs bestimmen

$$f_{obj} = (41,0 \pm 0,5) \text{ mm}$$

deren nomineller Wert

$$f_3 = 40 \text{ mm}$$

entspricht. Somit erhalten wir eine Abweichung von 2σ . Diese Abweichung kann noch durch statistische Schwankungen erklärt werden, jedoch spielen hier vermutlich auch Parallaxenfehler eine Rolle, die bei Experimenten dieser Art nicht immer auszuschließen sind.

Vermutlich wurde auch der Ablesefehler der Größe des Zwischenbildes als zu klein eingeschätzt, was zu einer solchen geringen Unsicherheit führt.

ok

Zur Funktion der Blenden: Der abgebildete Bereich des Objektmaßstabes wird umso kleiner, desto kleiner der Durchmesser der Leuchtfeldblende eingestellt wird. Hierbei ist aber zu beachten,

dass das Verstellen der Leuchtfeldblende nicht die Helligkeit verändert. Dies passiert über die Größe der Öffnung der Aperturblende. Diese ist außerdem noch für die Einstellung der Tiefenschärfe des Bildes von Bedeutung. Jedoch verändert die Aperturblende, im Gegensatz zur Leuchtfeldblende, nicht die Größe der Abbildung.

habt ihr das
geprüft?

Aufgabe 4

Für die Gesamtvergrößerung des Modellmikroskops haben wir einen Wert von

$$\overline{V_{ges}} = 62,5 \pm 0,7$$

berechnet. Da wir hier keinen nominellen Vergleichswert haben ist es für uns schwierig, die Qualität unserer Messung zu beurteilen.

Aber daraus konnten wir dann auch die Vergrößerung des Okulars

$$V_{Ok} = 3,21 \pm 0,5$$

signifikante
stellen

und deren Brennweite

$$f_{Ok} = (78 \pm 2) \text{mm}$$

bestimmen. Da der nominelle Wert des Okulars

$$f_4 = 80 \text{mm}$$

beträgt, entspricht dies lediglich einer Abweichung im 1σ -Bereich, was auf eine hohe Bestimmgenauigkeit unserer Messmethode hinweist.

ok

Aufgabe 5

Zuletzt haben wir die Gitterkonstante

$$g = (0,67 \pm 0,03) \text{mm}$$

unseres abgebildeten Gitters bestimmt. Darauf hin konnten wir den theoretischen Wert der Spaltbreite

$$d_{theo} = (0,064 \pm 0,003) \text{mm}$$

bestimmen und somit unseren gemessenen Wert

$$d_{orig} = (0,080 \pm 0,008) \text{mm}$$

vergleichen. Die Abweichung liegt hier jedoch wiederum im 2σ -Bereich. Auch für diese Abweichung könnte ein Parallaxenfehler wieder von Bedeutung sein, auch wenn wir versucht haben, dies durch nötige Einstellungen soweit wie möglich zu reduzieren. Zudem war es dem ungeübten Auge kein einfaches, genau zu erkennen, wann genau die vertikalen Linien auf dem Bildschirm verschwanden, dies erklärt die obige Abweichung vermutlich am Besten.

ja, gut

Zu guter Letzt haben wir aus der gemessenen Spaltbreite noch die Auflösung des Mikroskops bestimmt und erhalten dafür folgenden Wert:

$$g_{min} = (0,0098 \pm 0,001) \text{mm}.$$

runden

Aufgrund mangelnder Vergleichswerte können wir auch diesen Wert nicht qualitativ kommentieren. Es wirkt lediglich realistisch, da die oben berechnete Gitterkonstante somit abbildbar erscheint.

5 Anhang

Literatur

VERSUCHSANLEITUNG AP-2.TEIL, "*Strahlengang im Mikroskop (Versuch 75)*".Stand
07/2013.