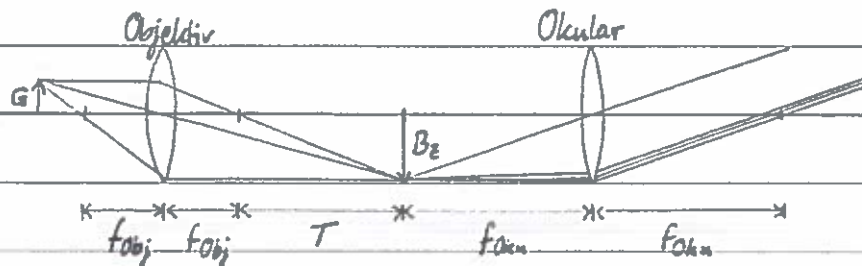


364 - Fernrohr und Mikroskop

1.) Einleitung: Fernrohr und Mikroskop sind vergrößernde optische Instrumente. Der Versuch 364 dient dem Verständnis von Aufbau und Funktionsweise dieser Instrumente. Zudem wollen wir ihre Eigenschaften wie Vergrößerung, Auflösungsvermögen und Abbildungsfehler untersuchen.

2.) Vorantgaben: 364. A



Wir verwenden die Matrizenoptik: Translation $\begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$, dünne Linse $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f} & 1 \end{pmatrix}$

Für das Linsensystem des Mikroskops gilt dann:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_{oku}} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & f_{obj} + f_{oku} + T \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_{obj}} & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_{oku}} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -\frac{f_{oku} + T}{f_{obj}} & f_{obj} + f_{oku} + T \\ -\frac{1}{f_{obj}} & 1 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} \frac{f_{oku} + T}{f_{obj}} & f_{obj} + f_{oku} + T \\ \frac{f_{oku} + T}{f_{oku} + f_{obj}} - \frac{1}{f_{obj}} & -\frac{f_{obj} + T}{f_{oku}} \end{pmatrix}$$

$$= -\frac{1}{f_n} = \frac{T}{f_{oku} \cdot f_{obj}} \quad (\Rightarrow) \quad f_n = -\frac{f_{obj} \cdot f_{oku}}{T}$$

364. B Ein astronomisches Fernrohr ist prinzipiell wie Mikroskop aufgebaut, allerdings mit Tubuslänge $T \rightarrow 0$, also $f_n = -\infty$ und $D_F = \frac{1}{f_n} = 0$

364. C Befindet sich der beobachtete Gegenstand nicht im Unendlichen, so fällt das Licht nicht mehr genau parallel ein und das Zwischenbild B_z entsteht im Abstand T hinter der Objektivbrennweite.

Es gilt für den Sehwinkel α_0 ohne Instrument:

$$\tan \alpha_0 = \frac{G}{g} = \frac{B_z}{f_{\text{obj}} + T}$$

Für den Sehwinkel α mit Instrument gilt (wie beim Mikroskop oder beim astron. Fernrohr)

$$\tan \alpha = \frac{B_z}{f_{\text{oku}}}$$

$$\Rightarrow V = \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_0} = \frac{f_{\text{obj}} + T}{f_{\text{oku}}}$$

364. D $\gamma_1 = \frac{T_1}{f}$, $\gamma_2 = \frac{T_2}{f}$ Subtraktion liefert sofort: $\gamma_2 - \gamma_1 = \frac{T_2 - T_1}{f}$
 $\Rightarrow f = \frac{T_2 - T_1}{\gamma_2 - \gamma_1} \text{ oder } \gamma_M$

3) Messwerte: Objektiv 10x, Okular 10x

364. a

$$G = 100 \mu\text{m}, B_z = 1,1 \text{ mm}$$

$$\Delta B_z = 0,1 \text{ mm}$$

$$G = 500 \mu\text{m}, B = 4,9 \text{ cm}$$

$$|b| = (24 \pm 2) \text{ cm}$$

$$\Delta B = 0,2 \text{ cm}$$

Objektiv 20x, Okular 5x

$$G = 100 \mu\text{m}, B_z = 2,0 \text{ mm}$$

$$\Delta B_z = 0,1 \text{ mm}$$

$$G = 400 \mu\text{m}, B = 4,2 \text{ cm}$$

$$|b| = (28 \pm 2) \text{ cm}$$

$$\Delta B = 0,2 \text{ cm}$$

364. b 1. Messung (Objektiv 20x, Okular 10x):

$$G = 100 \mu\text{m}, B = 3,1 \text{ cm}, b = (32 \pm 2) \text{ cm}$$

$$\Delta B = 0,2 \text{ cm}$$

2. Messung (Objektiv 20x, Okular 10x): $G = 100 \mu\text{m}$ $B = 1,9 \text{ cm}$

Tubuslängendifferenz: $|T_2 - T_1| = (6,0 \pm 0,1) \text{ cm}$ $b = (26 \pm 2) \text{ cm}$

364. c $f_{\text{obj}} = 300 \text{ mm}$, $f_{\text{oku}} = 38 \text{ mm}$

$$N = 8, M = 1, \Delta M = \frac{1}{2}$$

Rand des Sichtfelds extrem verschwommen, sphärische Aberration

364.d $f = 12,7 \text{ mm}$, $N = 10$, $M = 0,6 \pm 0,2$ Austrittspupille sehr klein
Kontrast sehr schwach, Bild nur bei teilweise ausgeschalteter Deckenbeleuchtung
zu erkennen, Bild verschwommen \rightarrow sphärische Aberration extrem groß
 $f = 50,2 \text{ mm}$, $N = 3,5$, $M = 0,5$, $\Delta M = 0,5$

364.e Wir verwenden die Linse mit $f = 12,7 \text{ mm}$ zur Umkehrung des Zwischenbildes,
weil sie die kleinste Brennweite besitzt und das Fernrohr somit nicht zu lang
wird. Baulänge verlängert sich um das Vierfache der Umkehrlinsenbrennweite
 $N = 5$, $M = 0,5$, $\Delta M = 0,2$
Okular-brennweite: $f_{\text{okul}} = 38 \text{ mm}$

364.f Baulänge: kürzer $f_{\text{okul}} = -12,7 \text{ mm}$

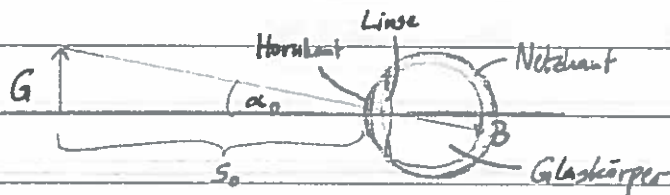
364.g funktioniert nicht

364.h $E = (5,60 \pm 0,02) \text{ m}$ Abstand Siemensstern, Objektivlinse
 $D = 3,0 \text{ mm}$ (x links, y rechts)
 $x = /$ $y = /$ (Streifen bis zur Kreismitte scharf zu sehen)
 $D = 2,0 \text{ mm}$
 $x = 71,0 \text{ mm}$ $y = 96,5 \text{ mm}$
 $D = 1,0 \text{ mm}$
 $x = 64,5 \text{ mm}$ $y = 104,5 \text{ mm}$
 $D = 0,6 \text{ mm}$
 $x = 45,0 \text{ mm}$ $y = 122,5 \text{ mm}$
 $D = 0,3 \text{ mm}$ Ungenauigkeiten, weil Linse dreieckig
 $x = 15,0 \text{ mm}$ $y = 152,0 \text{ mm}$
 $D = 0,2 \text{ mm}$
 $x = 0$ $y = 172 \text{ mm}$ (gar keine Streifen mehr sichtbar)
 $\Delta x = \Delta y = 5 \text{ mm}$

Oh

4.) Theorie: Betrachten wir einen Gegenstand mit unseren Augen, so passiert Folgendes:

Die vom Objekt ausgesendeten Lichtstrahlen treffen auf unser Auge und werden dort an der Hornhaut und an der Augenlinse gebrochen. Durch Muskeln an der Augenlinse kann diese gestreckt oder gestaucht werden und so die Brechkraft des Auges so an die Entfernung des Gegenstands angepasst werden, dass auf der Netzhaut ein scharfes Bild entsteht (Akkomodation). Um dieses Bild zu vergrößern, kann der betrachtete Gegenstand zunächst einfach näher an das Auge herangeführt werden, allerdings nur bis zur kleinsten deutlichen Schwere s_0 , die durchschnittlich bei 25 cm liegt. Den Winkel, unter dem ein Gegenstand in der Entfernung s_0 vom Auge aus erscheint, definiert man als maximalen Sehwinkel α_0 des menschlichen Auges:

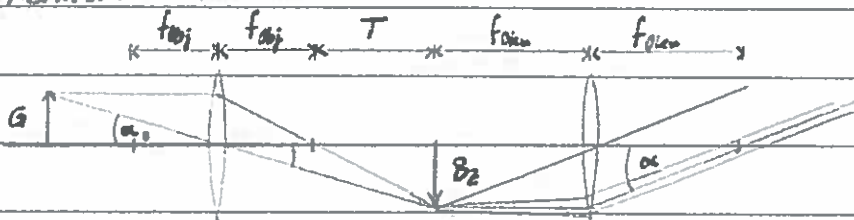


Aus der Skizze erkennt man sofort $\tan \alpha_0 = \frac{G}{s_0}$. Die Vergrößerung V eines optischen Instruments berechnet man nun mit folgender Formel:

$$V = \frac{\tan(\text{Sehwinkel mit Instrument})}{\tan(\text{maximal möglicher Sehwinkel ohne Instrument})}$$

Damit ergeben sich für die Vergrößerungen von Mikroskop und astronomischem Fernrohr:

Mikroskop

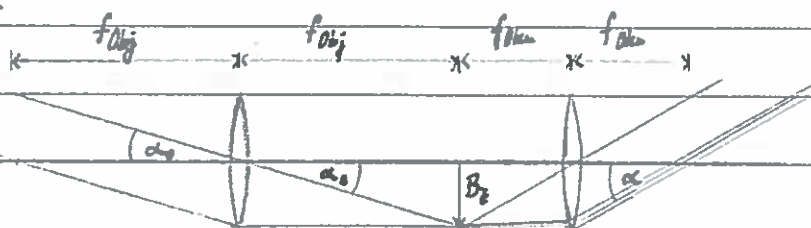


$$\tan \alpha = \frac{B_2}{f_{ok}} = \frac{G \cdot T}{f_{ok} \cdot f_{obj}}$$

$$V = \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_0} = \frac{T \cdot s_0}{f_{ok} \cdot f_{obj}} = V_{obj} \cdot V_{ok}$$

astr. Fernrohr

G im
Unendlichen



$$V = \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_0} = \frac{B_2 / f_{ok}}{B_2 / f_{obj}} = \frac{f_{obj}}{f_{ok}}$$

Theoretisch könnte man nach diesen Formeln beliebig hohe Vergrößerungen erreichen, indem man die Instrumente besonders lang baut. In der Praxis jedoch stößt man auf Grenzen: Zum einen sinken bei großen Vergrößerungen Kontrast und Bildhelligkeit, weil weniger Licht pro Flächeneinheit vorhanden ist. Zum anderen benötigt man zur Reduktion von Bildfehlern - Blenden, an denen zwangsweise Beugung auftritt. Dadurch wird das Auflösungsvermögen begrenzt. Nach dem Rayleighschen Kriterium können zwei Objekte gerade noch getrennt werden, wenn das zentrale Beugungsmaximum des einen in das erste Minimum des anderen fällt. Im Fall eines Rundspaltes (kreisförmige Blende) gilt dann für den Winkel α , unter dem die beiden Objekte mindestens erscheinen müssen:

$$\sin \alpha = \frac{1,22 \lambda}{D}$$

5.) Durchführung und Auswertung:

364. a Im ersten Versuchsteil wollen wir die Vergrößerung zweier Okulare eines Mikroskops bestimmen. Dazu messen wir zunächst den Abbildungsmaßstab des Objektivs, indem wir ein Messobjekt einsetzen, das eine Millimeterskala in der Zwischenbildebene enthält, und dann eine Millimeterskala durch das Mikroskop betrachten. Danach setzen wir die beiden zu untersuchenden Okulare 5x und 10x ein und messen den Gesamtabbildungsmaßstab γ_H , indem wir mit einem Auge die Mikrometerskala durch das Mikroskop und mit dem anderen Auge eine Zentimeterskala neben dem Mikroskop anschauen. Wegen

$$\gamma_H = \frac{B}{G} = \frac{B}{B_2} \cdot \frac{B_2}{G} = \gamma_{\text{Obj}} \cdot \gamma_{\text{Ok}}$$

gilt für den Abbildungsmaßstab des Okulars: $\gamma_{\text{Ok}} = \frac{\gamma_H}{\gamma_{\text{Obj}}}$. Für die Okularvergrößerung gilt nun:

$$V_{\text{Ok}} = \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_0} = \frac{B/|b|}{B_2/s_0} = \frac{B}{B_2} \cdot \frac{s_0}{|b|} = \gamma_{\text{Ok}} \cdot \frac{s_0}{|b|} = \frac{\gamma_H}{\gamma_{\text{Obj}}} \cdot \frac{s_0}{|b|}$$

Im Versuch haben wir folgende Beobachtungen gemacht: Wenn wir die Mikrometerskala mit dem Objektiv 10x und dem Messokular betrachten, betragen 100 μm in der Zwischenbildebene $(1,1 \pm 0,1) \text{ mm}$. Für das Objektiv 20x ergibt sich für die gleiche Gegenstandsgröße eine Zwischenbildgröße von $(2,0 \pm 0,1) \text{ mm}$. Damit finden wir also:

als Abbildungsmaßstäbe für die beiden Objektive:

$$\gamma_{\text{obj},10} = 11 \pm 1, \quad \gamma_{\text{obj},20} = 20 \pm 1$$

Für die Kombinationen „Objektiv 10x, Okular 10x“ und „Objektiv 20x, Okular 5x“ messen wir nun die Gesamtabbildungsmaßstäbe. Die Zentimeterskala, mit der wir das Bild vergleichen, befindet sich dabei im Abstand $b_{10} = (24 \pm 2) \text{ cm}$ bei der ersten Messung und $b_{20} = (28 \pm 2) \text{ cm}$ bei der zweiten Messung von unserem Auge entfernt. Damit ergeben sich folgende Werte:

$$\text{Objektiv 10x, Okular 10x: } \gamma_n = 98 \pm 4, \quad V_{\text{okn}} = 9,3 \pm 1,2$$

$$\text{Objektiv 20x, Okular 5x: } \gamma_n = 105 \pm 5, \quad V_{\text{okn}} = 4,7 \pm 0,5$$

Offenbar geben die auf Objektiv und Okular abgedruckten Zahlen also die Vergrößerung an, denn unsere Ergebnisse von $9,3 \pm 1,2$ und $4,7 \pm 0,5$ stimmen innerhalb des Fehlerbereichs mit den Angaben 10 bzw. 5 überein. Wenn wir die Ungenauigkeiten unserer Messungen minimieren würden, beispielsweise indem wir für die Bestimmung der Abbildungsmaßstäbe statt einer Einzelmessung eine ganze Messreihe mit verschiedenen Gegenstandsgrößen G durchführen würden, so käme unser Ergebnis den Werten von 10 bzw. 5 vermutlich immer näher.

364.6 Wir wollen nun die Brennweite des Objektivs 20x nach dem Abbeschen Verfahren bestimmen. Dafür messen wir für zwei verschiedene Tubulängen die Abbildungsmaßstäbe. Die Brennweite f_{obj} ergibt sich dann aus der Formel, die in 364.D hergeleitet wurde. Wir finden:

$$\gamma_1 = \frac{(1,9 \pm 0,2) \text{ cm}}{0,1 \text{ mm}} = 190 \pm 20$$

$$\gamma_2 = \frac{(3,1 \pm 0,2) \text{ cm}}{0,1 \text{ mm}} = 310 \pm 20$$

Mit einer Tubulängendifferenz $T_2 - T_1 = (6,0 \pm 0,1) \text{ cm}$, die wir durch einen Messingrohransatz erreichen, ergibt sich:

$$f_{\text{obj}} = \frac{T_2 - T_1}{\gamma_2 - \gamma_1} = (0,50 \pm 0,12) \text{ mm}$$

Dieser Wert erscheint mir etwas zu klein. Wenn wir die Tubuslänge des Mikroskops auf 10 cm schätzen, sollte die Brennweite bei einer Vergrößerung $V_{obj} = 20$

$$f_{obj} = \frac{l}{V_{obj}} = 5 \text{ mm}$$

betrugen, also etwa das Zehnfache.

364.c Wir beenden nun unsere Messungen am Mikroskop und widmen uns in den folgenden Versuchsteilen dem Fernrohr. Zunächst bauen wir ein astronomisches Fernrohr auf. verwenden wir neben der Objektivlinse mit Brennweite $f_{obj} = 300 \text{ mm}$ (bleibt für alle folgenden Versuchsteile gleich) eine Linse der Brennweite $f_{ok} = 38 \text{ mm}$, die wir auf der dafür vorgesehenen Halterung befestigen. Die Reiter mit den Linsen verschieben wir entlang der ^{optischen} Schiene so, dass die Linsenfokuspunkte aufeinanderfallen. Nun bestimmen wir die Vergrößerung des Fernrohres, indem wir eine Messlatte mit einem Auge durch das Fernrohr betrachten, während wir mit dem anderen Auge am Fernrohr vorbei auf die Latte blicken. Wir stellen fest, dass bei unserem Fernrohr $N=8$ Teilstriche des „unbewaffneten“ Auges gerade $M=1$ Teilstrich des durch das Fernrohr blickenden Auges entsprechen. Daraus ergibt sich eine Vergrößerung von

$$V = \frac{N}{M} = 8 \pm 4$$

Der Messfehler bei dieser Methode ist relativ groß, weil es schwierig ist, die verschiedenen Bilder der beiden Augen im Gehirn übereinanderzulegen. So kann Anzahl der Teilstriche nur ungenau bestimmt werden. Wie im Theorie-Teil hergeleitet, beträgt die theoretische Vergrößerung unseres Fernrohres:

$$V = \frac{f_{obj}}{f_{ok}} = \frac{300}{38} = 7,89$$

Unser Ergebnis ist also plausibel.

Wenn wir den Rand des Sichtfeldes betrachten, bemerken wir, dass dieser stark verschwommen und verzerrt ist. Grund dafür ist die sphärische Aberration, d.h. die stärkere Brechung von Strahlen fern der optischen Achse. Um diesen Fehler zu reduzieren und das Bild mit einem scharfen Rand zu begrenzen, müsste man eine Blende in die Brennebene einbauen.

Ocular-

364.d Für die anderen beiden Sammellinsen ($f = 50,2 \text{ mm}$ und $f = 12,7 \text{ mm}$) finden wir folgende Vergrößerungen:

$$f_{\text{Okul}} = 50,2 \text{ mm} : \quad V = \frac{N}{M} = \frac{3,5}{0,5 \pm 0,5} = 7 \pm 7$$

$$V_{\text{theoretisch}} = \frac{300}{50,2} = 5,98$$

$$f_{\text{Okul}} = 12,7 \text{ mm} : \quad V = \frac{N}{M} = \frac{10}{0,6 \pm 0,2} = 17 \pm 6$$

$$V_{\text{theoretisch}} = \frac{300}{12,7} = 23,62$$

Bei der größten Vergrößerung ($f_{\text{Okul}} = 12,7 \text{ mm}$) erscheint das Bild sehr dunkel und ist nur noch bei teilweise abgedunkelter Deckenbeleuchtung gut zu erkennen. Auch der Kontrast ist nur noch sehr schwach. Beides liegt daran, dass bei großen Vergrößerungen weniger Licht pro Fläche vorhanden ist. Die Austrittspupille ist sehr klein, sodass nur ein kleiner Ausschnitt des Gegenstandes betrachtet werden kann. Mit einem größeren Objektiv könnte dieses Problem behoben werden.

364.e Wir bauen nun ein terrestrisches Fernrohr, bei dem das Bild nicht mehr auf dem Kopf steht. Dazu müssen wir das Zwischenbild mit einer zusätzlichen Linse umkehren, bevor wir es mit dem Okular betrachten. Das Bild soll durch die Umkehrlinse nur gedreht, aber nicht vergrößert oder verkleinert werden. Folglich muss die Umkehrlinse genau um das doppelte ihrer Brennweite vom Zwischenbild entfernt sein und die Baulänge des Fernrohrs erhöht sich im Vergleich zum astronomischen Fernrohr ^{insgesamt} um das Vierfache der Umkehrlinsebrennweite. Damit das Fernrohr nicht zu lang wird, verwenden wir als Umkehrlinse diejenige mit der kürzesten Brennweite, also die mit $f = 12,7 \text{ mm}$. Als Objektiv benutzen wir wieder die Linse aus 364.c ($f = 38 \text{ mm}$). Als Vergrößerung messen wir

$$V = \frac{N}{M} = \frac{5}{0,5 \pm 0,2} = 10 \pm 4$$

Innerhalb des Fehlerbereichs stimmt dies wieder mit dem theoretischen Wert von 7,89 überein, denn die Vergrößerung sollte sich im Vergleich zum astronomischen Fernrohr nicht ändern.

364. f, g Wir wollen nun ein Galileisches Fernrohr bauen. Dazu bauen wir als Objektiv die Zerstreuungslinse mit $f = -12,7 \text{ mm}$ in die Halterung ein. Damit die Brennpunkte der Objektiv- und Okularlinse wieder aufeinanderfallen, muss ihr Abstand gerade $(300 - 12,7) \text{ mm} = 287,3 \text{ mm}$ betragen. Dadurch ist das Galileische Fernrohr kürzer als die anderen Fernrohre. Als Vergrößerung erwarten wir:

$$V = \frac{f_{\text{Obj}}}{|f_{\text{Okul}}|} = 23,62$$

Leider konnten wir trotz sorgfältiger Justierung kein Bild durch unser Fernrohr beobachten. Woran das lag, kann ich mir selbst nicht erklären, da wir unseren Aufbau mehrfach überprüft haben.

Für das Bild erwarten wir ein ähnliches Aussehen wie bei der kleinsten Okularbrennweite in 364. d. Wahrscheinlich hätte man also ein sehr dunkles, kontrastloses und am Rand sehr verschwommenes Bild gesehen. Im Unterschied zum astronomischen Fernrohr kann man beim Galileischen Fernrohr aber keine Aperturblende in die Brennebene stellen, um einen scharf begrenzten Rand zu erzeugen und Linsenfehler zu reduzieren.

364. h Bei der Verwendung von Blenden wird das Auflösungsvermögen eines Fernrohrs durch Beugung begrenzt. Wie bereits im Theorie-Teil erwähnt, gilt für den Winkel α , unter dem zwei Objekte mindestens erscheinen müssen, damit sie noch voneinander getrennt werden können:

$$\sin \alpha = \frac{1,22 \lambda}{D} \approx \alpha$$

↑
für kleine Winkel

Diesen Zusammenhang wollen wir nun untersuchen. Dazu nutzen wir einen Siemensstern, das ist eine Sektorscheibe bestehend aus 72 abwechselnd schwarzen und weißen Sektoren. Wir bauen wieder ein astronomisches Fernrohr auf, durch das wir den beleuchteten Siemensstern im abgedunkelten Raum betrachten. Vor der Objektivlinse platzieren wir ein Filtrerrad mit verschiedenen Lochblenden. Während man für den größten Blendendurchmesser alle Bezirke noch bis zur Mitte erkennen kann, gehen die Bezirke für kleine Blendendurchmesser im Inneren der Scheibe in graue Kreisl

über. Den Durchmesser dieser Kreislächen messen wir. Der Abstand G zweier weißer Streifen, der gerade noch aufgelöst werden kann, beträgt dann ein Sechshunddreißigstel des Umfangs der grauen Kreisläche. Mit dem Abstand E von Objektiv zu Seemars stern findet man für den Winkel α :

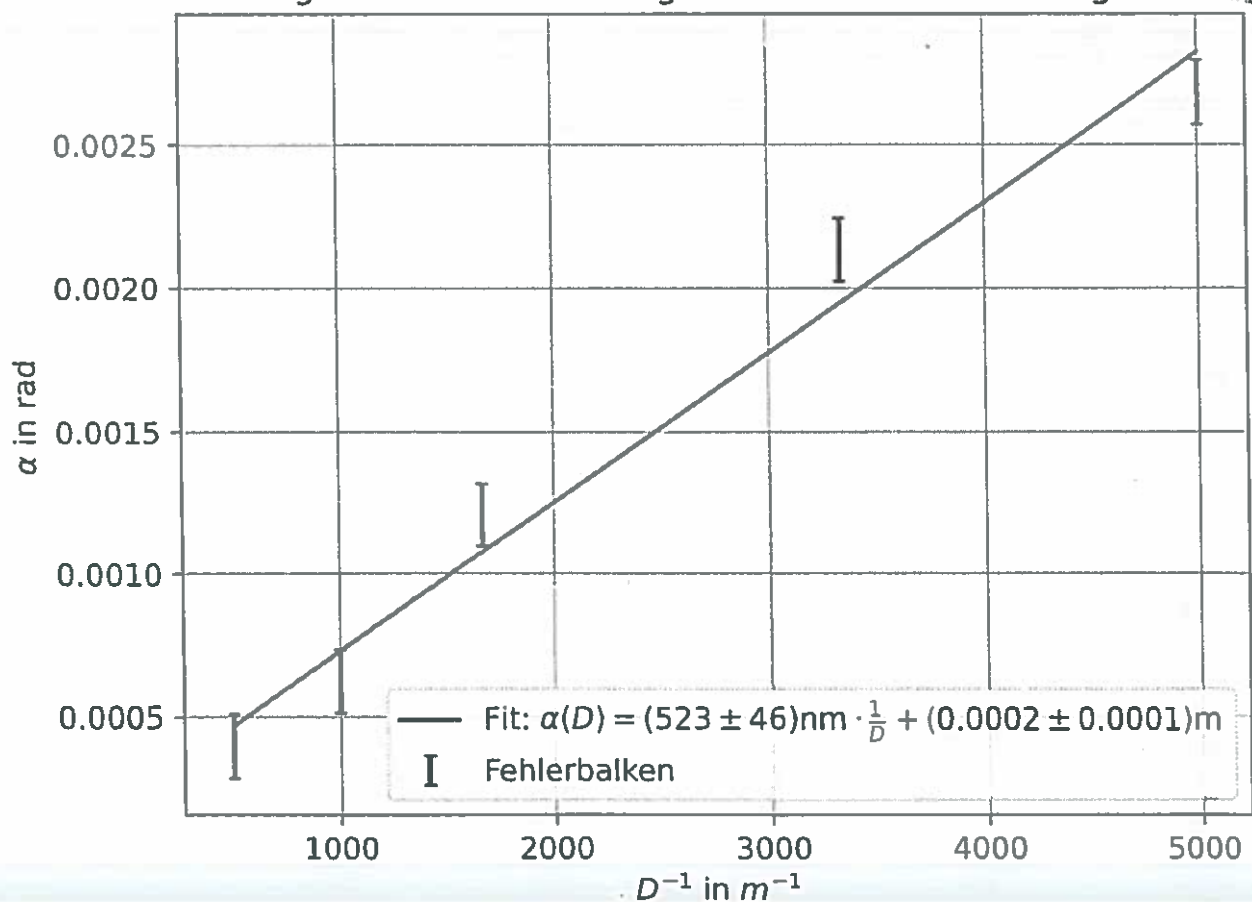
$$\alpha \approx \tan \alpha = \frac{G}{E} = \frac{\pi \cdot d}{36 \cdot E}$$

Wir errechnen folgende Werte:

$D[m]$	$D^{-1}[m^{-1}]$	$d[m]$	$\Delta d[m]$	$\alpha[rad]$	$\Delta \alpha[rad]$
0.0020	500	0.026	0.007	0.0004	0.0001
0.0010	1000	0.040	0.007	0.0006	0.0001
0.0006	1667	0.078	0.007	0.0012	0.0001
0.0003	3333	0.137	0.007	0.0021	0.0001
0.0002	5000	0.172	0.007	0.0027	0.0001

Tragen wir nun α gegen den inversen Blendendurchmesser auf, so erwarten wir eine Gerade, aus dessen Steigung wir die Wellenlänge λ bestimmen können:

Bestimmung der Lichtwellenlänge anhand des Auflösungsvermögens



Der Geradenfit erfasst die Daten nur mäßig gut, womöglich haben wir den Fehler auf die Breite der grauen Kreisflächen mit 5mm eher unterschätzt.

Die Geradensteigung entspricht dem 1,22-fachen der Lichtwellenlänge, sodass sich für diese ergibt:

$$\lambda = (429 \pm 38) \text{ nm}$$

Dies entspricht einem dunkelblauen bis violetten Farbton und ist daher etwas zu wenig. Die effektive Wellenlänge sollte eher im grünen Bereich, d.h. bei etwa 500 nm liegen, da dies etwa der Mitte des sichtbaren Spektrums entspricht.

364.i Es gilt:

$$y = \frac{0,61\lambda}{n \cdot \sin \alpha} = \frac{0,61\lambda}{n \frac{D}{2f}} = \frac{1,22 \lambda \cdot f}{n \cdot D} = \alpha \cdot \frac{f}{n}$$

Man sieht also, dass der kleinste auflösbare Abstand y zweier Objekte beim Mikroskop im direkten Zusammenhang mit dem kleinsten auflösbaren Winkel α steht. Dies ergibt auch Sinn, da ein Mikroskop ja ebenfalls aus Linsen und Blenden besteht.

Wenn wir davon ausgehen, dass unsere in 364.b gefundene Objektivbrennweite von $f = 0,5 \text{ mm}$ stimmt, dann gilt mit einer mittleren Wellenlänge von $\lambda = 500 \text{ nm}$, einem Brechungsindex von $n = 1$ und einem Blendendurchmesser von $D = 5 \text{ mm}$:

$$y \approx 0,06 \text{ } \mu\text{m}$$

Diesen Wert halte ich für viel zu klein. Die Mikrometerskala, deren Striche ein Abstand von $0,01 \text{ mm} = 10 \text{ } \mu\text{m}$ hatten, war gut und deutlich zu erkennen anhand dessen würde ich das Auflösungsvermögen auf $y \approx 1 \text{ } \mu\text{m}$ schätzen.

In dem menschlichen Auge entspricht der Blendendurchmesser D der Öffnung Pupille. Im Dunkeln erreicht diese einen Durchmesser von etwa 9mm. Mit 500nm gilt für den kleinsten auflösbaren Winkel α des menschlichen Auges:

$$\alpha = 6,78 \cdot 10^{-5} \text{ rad}$$

6.) Fazit: Im Versuch 364 haben wir mit einem Mikroskop und verschiedenen Fernrohren experimentiert. Im ersten Versuchsteil haben wir die Vergrößerungen zweier Okulare zu $V = 9,3 \pm 1,2$ und $V = 4,7 \pm 0,5$ sowie die Brennweite eines Objektivs zu $f = (0,50 \pm 0,12) \text{ mm}$ bestimmt. Im zweiten Versuchsteil haben wir dann verschiedene Fernrohrtypen mit verschiedenen Vergrößerungen aufgebaut. Dabei sind uns die Grenzen der Vergrößerung durch sinkende Bildhelligkeit, durch Linsenfehler und durch Beugung sprichwörtlich vor Augen geführt worden. Anhand des Zusammenhangs für den kleinsten noch auflösbaren Winkel wurde mithilfe eines Siemenssterns schließlich die effektive Lichtwellenlänge λ zu $(429 \pm 38) \text{ nm}$ bestimmt.

Bestandnr. 22.03.22 