

## Hinweis

Das vorliegende Protokoll wurde im Rahmen der jeweiligen Lehrveranstaltung an der Universität Bonn erstellt. Sofern im oberen Teil der ersten Seite oder auf der unten angegebenen Webseite nicht anders vermerkt, wurde dieses Protokoll von mir, Marvin Zanke, alleine angefertigt und eingereicht. Bei allem in einer anderen Farbe als dem üblichen Blau handelt es sich in der Regel um Korrekturen von mir oder des Tutors. Für mehr Informationen und meine gesamten Unterlagen, siehe:

<https://www.physics-and-stuff.com/>

**Ich erhebe keinen Anspruch auf Richtigkeit und Vollständigkeit des vorliegenden Protokolls! Dies gilt ebenso für obengenannte Korrekturen.**

Dieses Werk von [Marvin Zanke](#) ist lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung – Nicht-kommerziell – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz](#).

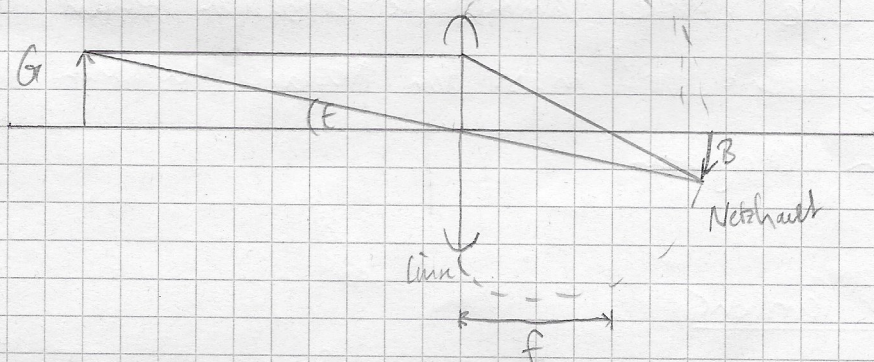


# 09.03.2016 Versuch 364: Fernrohr und Mikroskop

In diesem Versuch geht es um die Funktionsweise, die Anwendung, sowie Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Fernrohren und Mikroskopen. Es wird auf verschiedene Eigenschaften wie Vergrößerung, Auflösungsvermögen, Brennweiten und Beugung eingegangen.

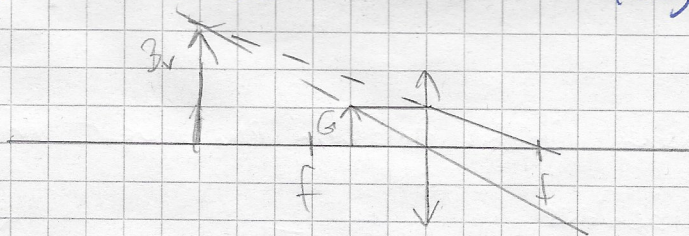
## Größen, Formeln, Begriffe

menschliches Auge: das menschliche Auge funktioniert wie eine Sammellinse mit variabler Brennweite.



womit auch gleichzeitig der Schwinkel  $\epsilon$  erklärt ist. Dieser gibt den Winkel an, unter dem ein Objekt vom Betrachter wahrgenommen wird.

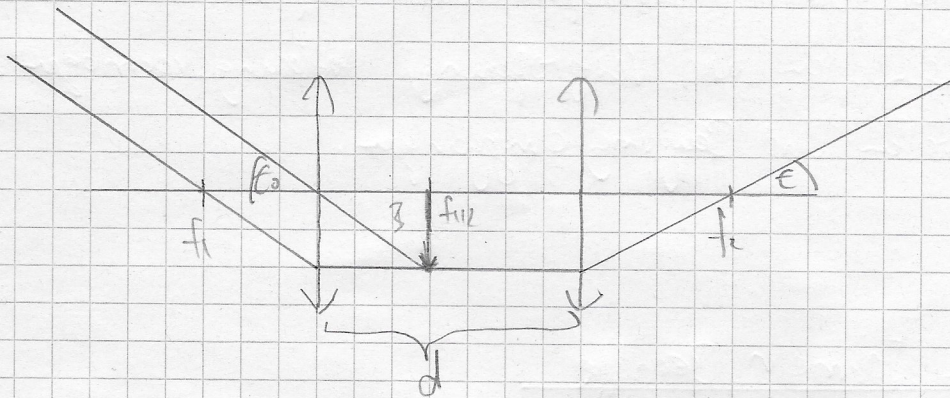
Lupe: besteht aus Sammellinse. Gegenstandsweite ist kleiner als Brennweite  $\rightarrow$  virtuelles, vergrößertes Bild.





## Astronomisches / terrestrisches Fernrohr:

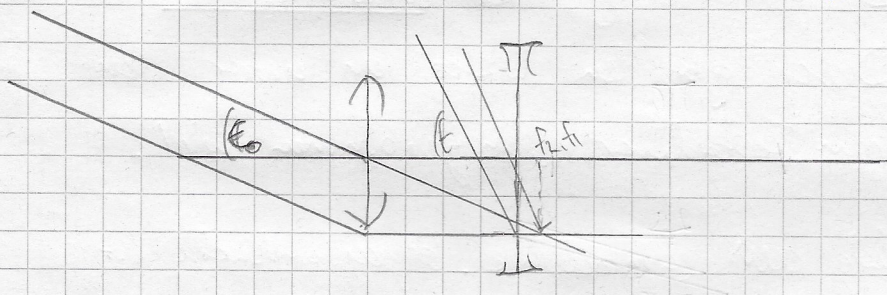
mit dem astronomischen Fernrohr betrachtet man Gegenstände in „unendlicher“ Entfernung. Die Linsen befinden sich im Abstand  $d = f_1 + f_2$ .



Will man Gegenstände auf der Erde - also endlicher Entfernung betrachtet - betrachten, so „muss“ man eine weitere Sammellinse einbauen, welche das Bild richtig dreht, und muss den Abstand zwischen den beiden Linsen korrigieren.

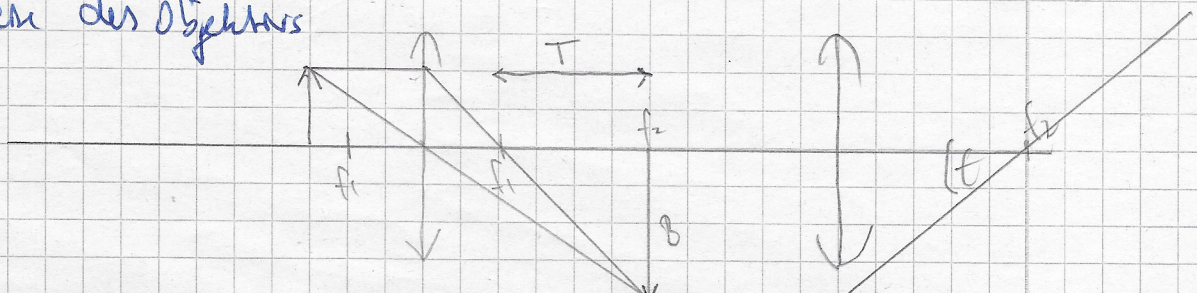
## Galilei-Fernrohr

besteht aus Sammellinse und Zerstreuungslinse



## Mikroskop

Zwei Sammellinsen; Objekt zwischen einfacher und doppelter Brennweite des Objektivs





## Ein- / Austrittspupille

Die Eintrittspupille ist eine (reelle / virtuelle) Öffnung, welche die einfallenden Strahlen in ein optisches System begrenzt.

Die Austrittspupille ist das bildseitige Bild der Aperturblende (Eintrittspupille).

## Grenzwinkel

Alle Punkte die bei gerader Ausrichtung des optischen Instruments wahrgenommen werden können.

## Vergrößerung

Verhältnis von dem Bild durch ein optisches Instrument und dem Gegenstand selbst.

$$V_L = \begin{cases} \frac{s_0}{f_L} & \text{fern} \\ 1 + \frac{s_0}{f_L} & \text{nah} \end{cases} \quad \text{Lupe}$$

$$V_M = V_{obj} \cdot V_{okul} = - \frac{s_0}{f_M} \quad \text{Mikroskop}$$

$$V_F = \frac{f_{obj}}{f_{okul}} \quad \text{astr. Fernrohr}$$

## Abbildungsmaßstab

Die Vergrößerung entspricht dem Abbildungsmaßstab:

$$\gamma = \frac{b}{g} = \frac{B}{G}$$

## Beugung am Spalt / Lochblende

Beugung begrenzt die Auflösung von optischen Instrumenten  
Das Maximum 0-ter Ordnung darf nicht näher als das 1. Minimum des anderen Objekts (dessen Beugungsmuster) liegen.



## Winkelaufklärungsvermögen

Beim Auge ist die Auflösung durch die Größe der Pupille und Zustand der Linse („das Auge“) bestimmt

Bei optischen Instrumenten gilt durch eben angesprochenes Kriterium:

$$\alpha = 1,22 \frac{\lambda}{D}, \quad \begin{array}{l} \lambda: \text{Wellenlänge des Lichts} \\ D: \text{Blenden durchmesser} \\ \alpha: \text{minimal auflösender Winkel} \end{array}$$

## Lichtstrom:

Lichtmenge, die pro Zeit von Lichtquelle erzeugt wird.

## Numerische Apertur:

Beschreibt das Vermögen, Licht zu fokussieren. Begrenzt damit auch die Auflösung.

$$A_N = n \cdot \sin(\alpha), \quad \begin{array}{l} n: \text{Brechungsindex} \\ \alpha: \text{Obj. seitiger Öffnungswinkel} \end{array}$$

## Abbesche Sinusbedingung

Gibt eine Bedingung an, ein kleines achsennahes und achsenrechttes Flächenelement frei von Bildfehlern abzubilden

$$\frac{n \cdot \sin(\alpha)}{n' \cdot \sin(\alpha')} = \frac{B}{G} = f = \text{const} \quad \begin{array}{l} \alpha: \text{Öffn. Winkel im Objekttraum} \\ \alpha': \text{Öffn. Winkel im Bildraum} \\ B: \text{paraxialer Abb. Maßstab} \end{array}$$

## Lagrange-Helmholtz-Invariante

Maß für den Lichtdurchgang durch ein optisches System

$$H = n \sigma G = n' \sigma' B, \quad \text{wobei } \sigma, \sigma': \text{Öffn. Winkel}$$



## Aufgabe A

Mit Hilfe der Matrizenoptik und der elementaren Matrizen  $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f} & 1 \end{pmatrix}$  für dünne Linsen und

$\begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$  für Translation erhält man:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_2} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & T + f_1 + f_2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_1} & 1 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & T + f_1 + f_2 \\ -\frac{1}{f_2} & -\frac{T + f_1}{f_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_1} & 1 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} -\frac{T + f_2}{f_1} & T + f_1 + f_2 \\ -\frac{1}{f_2} + \frac{T + f_1}{f_1 f_2} & -\frac{T + f_1}{f_2} \end{pmatrix}$$

$$= -\frac{1}{f_M} = \frac{T}{f_1 f_2}$$

$$\Leftrightarrow f_M = -\frac{f_1 f_2}{T}$$

## Aufgabe B

Da das astron. Fernrohr ein Mikroskop mit  $T \rightarrow 0$  ist folgt

analog:  $f_A \rightarrow -\infty$  und damit

$$D_A = \frac{1}{f_A} \rightarrow 0$$



### Aufgabe C

Hier direkt der Versuchsaufbau wieder dem eines Mikroskops. Es gilt dann:

$$\left. \begin{aligned} \tan(\gamma) &= \frac{B_2}{f_2}, & \tan \epsilon &= \frac{G}{g} = \frac{B_2}{T+f_1} \\ \text{Es gilt: } \frac{G}{f_1} &= \frac{B_2}{T} & \Leftrightarrow T &= B_2 \frac{f_1}{G} \end{aligned} \right\} (*)$$

$$(*) \Leftrightarrow \tan \epsilon = \frac{G}{g} = \frac{B_2}{B_2 \frac{f_1}{G} + f_1}$$

$$\begin{aligned} \Leftrightarrow g B_2 &= B_2 f_1 + f_1 G \Leftrightarrow G f_1 = B_2 (g - f_1) \\ \Leftrightarrow G &= \frac{B_2}{f_1} (g - f_1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{\tan \gamma}{\tan \epsilon} = \frac{B_2}{f_2} \cdot \frac{g}{G} = \frac{B_2}{f_2} g \frac{f_1}{B_2 (g - f_1)} \\ &= \frac{f_1 \cdot g}{f_2 (g - f_1)} \end{aligned}$$

### Aufgabe D

$$\text{Mit } \delta_1 = \frac{T_1}{f} \quad \text{und} \quad \delta_2 = \frac{T_2}{f}$$

$$\text{folgt sofort: } \delta_2 - \delta_1 = \frac{T_2}{f} - \frac{T_1}{f} = \frac{T_2 - T_1}{f}$$

$$\Leftrightarrow f = \frac{T_2 - T_1}{\delta_2 - \delta_1}$$

Mr. Ceylan



## Versuchsdurchführung

Im ersten Teil des Versuchs geht es um das Mikroskop. Über die Abbildungsmaßstäbe ermittelt man die Okularvergrößerung eines Mikroskops zweier verschiedener Okulare.

Dafür ermittelt man  $\gamma_{01}$  mit Hilfe eines Meniskus mit Skala in der Zwischenbildebene und einer Mikrometerskala als Objekt, welche man parallaxefrei fokussiert und durch Vergleich  $\gamma_{01} = \frac{B_1}{G}$  ermittelt. Außerdem ermittelt man noch den Gesamtabbildungsmaßstab  $\gamma_n$  indem man durch das zu untersuchende Okular das Objektmikrometer und mit dem anderen Auge ein Maßstab vergleicht.

Als nächstes wird die Brennweite des Objektivs mit dem Abbe-Verfahren bestimmt. Dafür misst man den Abbildungsmaßstab bei zwei scharf gestellten verschiedenen Tubustellungen.

Im zweiten Teil des Versuchs untersucht man das Fernrohr. Zuerst baut man ein astronomisches Fernrohr aus 2 Sammellinsen mit 6-facher Vergrößerung, womit man dann für verschiedene Okularlinsen die Vergrößerungen misst, indem man wieder 2 Meniskus - eine mit Fernrohr, eine mit unbedecktem Auge - zur Überdeckung bringt.

Danach baut man das Fernrohr zu einem terrestrischen um und versucht eine scharfe Abbildung zu bekommen.

Als nächstes baut man ein Galileisches Fernrohr und versucht durch Ausprobieren verschiedener Linsen eine gleiche Vergrößerung wie beim terrestrischen Fernrohr zu erreichen.

Im letzten Versuchsteil überprüft man experimentell das Auflösungsvermögen  $\alpha = 1,22 \frac{\lambda}{D}$  über beleuchtete Selbstschreiben und diskutiert den Zusammenhang zwischen Winkel und Abstand kleinster



# auflösbarer Objekte beim Mikroskop.

## Messung

c) Okularlinse  $f = 38 \text{ mm}$

$$N = 17 \pm 1$$

$$M = 2 \pm 0,5$$

Der Rand ist verschwommen und wird begrenzt durch die Objektivlinse.  
Man sieht deutlich die sph. Aberration

d)  $N = 60 \pm 1$   
 $M = 10 \pm 0,5$  |  $f = 50,2 \text{ mm}$

$$N = 55 \pm 1$$

$$M = 2 \pm 0,5$$
 |  $f = 12,7 \text{ mm}$

Bei größerer Vergrößerung: sehr dunkel, verschwommen  
(Licht aus)

Kontrast gering, Farbfehler

kleines Sichtfeld

e) Wenn es nicht durch die Linsenmittelpunkte geht,

$$N = 60 \pm 1$$

$$M = 8 \pm 0,5$$
 |  $f_2 = 38 \text{ mm}$ ,  $f_3 = 12,7 \text{ mm}$

Um  $4 \cdot f_3$  verlängert.  $d = (4,6 \pm 0,5) \text{ cm}$



f) Blende: 0,6 mm  
53 Skalenteile  
bis 113 Skalenteile

Entfernung:  
5m

Jeweils  $\pm 1$  Skalenteile  
als Ablesfehler ( $\hat{=} 2mm$ )

Blende: 0,3  
25 Skalenteile  
125 Skalenteile

Blende: 0,2  
nichts mehr zu erkennen; zu dunkel

Blende: 3,0

Blende: 2,0  
88 Skalenteile  
70,5 Skalenteile

Blende: 1,0  
62,5 Skalenteile  
92 Skalenteile

f)  $N=60 \pm 1$       Schwer zu messen  
 $M=2,5 \pm 0,5$        $f_1 = -12,7 mm$

Klein als Kepler  
Abbildung bei Galileo viel größer

g)  $20cm \hat{=} 1,5cm$  auf Linear in Zwischenbildebene  
für  $f_2 = 38mm$



Astronomisch:	$N=5$	$f_2 = 50,2 \text{ mm}$
	$M=2$	
Terrestrisch:	$N=5$	$f_3 = 38 \text{ mm}$
	$M=2$	$f_2 = 12,7 \text{ mm}$

a)  $|b| \approx 25 \text{ cm}$   
 Objektiv  $10\times$ , Okular  $10\times$  | Objektiv  $20\times$ , Okular  $5\times$

$$\delta_{\text{obj}} = \frac{B_2}{G_1}$$

$$G_1 = (0,95 \pm 0,05) \text{ mm}$$

$$B_2 = 10 \text{ mm}$$

$$\delta M = \frac{B}{G}$$

$$G_1 = (0,28 \pm 0,02) \text{ mm}$$

$$B = (30 \pm 1) \text{ mm}$$

$$B_2 = 10 \text{ mm}$$

$$G_1 = (0,52 \pm 0,05) \text{ mm}$$

$$G = (0,11 \pm 0,02) \text{ mm}$$

$$B = (10 \pm 1) \text{ mm}$$

b)  $T_2 = (0 \pm 0,1) \text{ cm}$

$$B = (10 \pm 1) \text{ mm}$$

$$G = (0,085 \pm 0,025) \text{ mm}$$

n. Loepke



## Auswertung

9) Sicherlich hätte man bei dieser Aufgabe die Messung für verschiedene große  $G$  wiederholen können. Da wir allerdings aus Zeitmangel in Eile waren - der für uns erste Teil des Versuchs (1-1a) hat uns knapp 2 Stunden gekostet - haben wir einen Messwert genommen, diesen dafür mehrfach überprüft.

Es gelten folgende Zusammenhänge:

$$d_{obj} = \frac{B_z}{G} \Rightarrow \Delta d_{obj} = \sqrt{\left(\frac{\Delta B_z}{G}\right)^2 + \left(\frac{B_z}{G^2} \Delta G\right)^2} = \frac{B_z}{G^2} \Delta G$$

denn  $B_z$  ist als fehlerfrei angenommen (Skala, die gegeben ist).

$$d_M = \frac{B}{G} \Rightarrow \Delta d_M = \sqrt{\left(\frac{\Delta B}{G}\right)^2 + \left(\frac{B}{G^2} \Delta G\right)^2}, \text{ da } B \text{ hier nicht fehlerfrei ist, sondern ebenfalls einen Ablesfehler enthält.}$$

$V_{oran} = \frac{d_M}{d_{obj}} \cdot \frac{S_0}{|b|} \approx \frac{d_M}{d_{obj}}$ , denn  $|b|$  haben wir etwa zu  $|b| \approx 25 \text{ cm}$  gemessen (was man hier eigentlich gemessen hat ist der Abstand des äußeren Vergleichsmaßstabs zum Auge; diese stimmen aber überein...).

$$\Rightarrow \Delta V_{oran} = \sqrt{\left(\frac{\Delta d_M}{d_{obj}}\right)^2 + \left(\frac{d_M}{d_{obj}^2} \Delta d_{obj}\right)^2}$$

Damit ergibt sich folgende "Tabelle" (jede Rechnung bekommt hierbei eine eigene Tabelle)



Objektiv	Okular	Größe $G_1$ in mm	$\Delta G_1$ in mm	Größe $B_z$ in mm	$\Delta B_z$ in mm	Abb.maßst. $\gamma_{Ob}$	$\Delta \gamma_{Obj}$
10x	10x	0.95	0.05	10	0	10.53	0.55
20x	5x	0.52	0.05	10	0	19.23	1.85

Objektiv	Okular	Länge $G_2$ in mm	$\Delta G_2$ in mm	Länge B in mm	$\Delta B$ in mm	ges. Abb.m. $\gamma_M$	$\Delta \gamma_M$
10x	10x	0.28	0.02	30	1	107.14	8.45
20x	5x	0.11	0.02	10	1	90.91	18.86

Objektiv	Okular	Okularv. $V_{Oku}$	$\Delta V_{Oku}$				
10x	10x	10.18	0.96				
20x	5x	4.73	1.08				

wobei  $G_1$  die Gegenstandsgröße aus der ersten Messung für  $\delta_2$  ist und  $G_2$  für  $\delta_1$ .

b) Mit der Formel gilt hier:  $f = \frac{T_2 - T_1}{\delta_2 - \delta_1}$

wobei wir  $T_1 = 0$  setzen, denn wir kennen die Tubuslänge des Mikroskops selbst nicht und es gilt streng:

$$T_2 = T_2' + T$$

$$T_1 = T_1' + T$$

mit  $T$ : Eigentubuslänge

$$T_2 - T_1 = T_2' - T_1'$$

$$\Rightarrow f = \frac{T_2}{\delta_2 - \delta_1} \Rightarrow \Delta f = \sqrt{\left(\frac{\Delta T_2}{\delta_2 - \delta_1}\right)^2 + \left(\frac{T_2}{(\delta_2 - \delta_1)^2} \Delta \delta_2\right)^2}$$

$$\sqrt{\left(\frac{T_2}{(\delta_2 - \delta_1)^2} \Delta \delta_1\right)^2}$$

$\delta_1$  ist dabei einfach der Wert des Abbildungsmaßstabs vom Objektiv aus Teil a). Also haben wir



$$\text{mit } \frac{\partial \Delta f}{\partial \Delta T} = \frac{\Delta f}{\Delta T} \quad \text{und} \quad \frac{\partial \Delta f}{\partial \Delta T} = 15 \times$$

Objektiv	Tubuslänge T in mm	$\Delta T$ in mm	Größe G in mm	$\Delta G$ in mm	Größe B in mm	$\Delta B$ in mm	Abb.maßst. $V_M$	$\Delta V_M$	Brennweite f in mm	$\Delta f$ in mm
20x	0	0	0.11	0.02	10	1	90.91	18.86		
20x	60	1	0.085	0.02	10	1	117.65	30.08		
									2.24	2.98

$$f = (2,24 \pm 2,98) \text{ mm}$$

c)  $f_{\text{obj}} = 38 \text{ mm}$ ,  $f_{\text{obj}} = 300 \text{ mm}$

$$N = 17 \pm 1, \quad M = 2 \pm 0,5$$

wobei N die Teilstriche mit „unverfälschten“ Auge sind und M durch das astronomische Fernrohr.

$$\Rightarrow V = \frac{N}{M}, \quad \Delta V = \sqrt{\left(\frac{\Delta N}{M}\right)^2 + \left(\frac{N}{M^2} \Delta M\right)^2}$$

$$\Rightarrow V = (8,5 \pm 2,18)$$

Der theoretische Wert ist:

$$V_{\text{th}} = \frac{f_{\text{obj}}}{f_{\text{okul}}} = 7,9 \quad \text{und damit liegen wir mit unserer}$$

Planung gut innerhalb der Fehlergrenzen.

Der Rand wirkt verschwommen und ist ganz leicht durch die Umrandung der Objektivlinse begrenzt.

Die sphärische Aberration ist deutlich sichtbar und Beugung begrenzt dem Rand.

Für einen schrägen Rand kann man hinter das Objektiv eine Blende einbauen.

Wirklich  
hinter das  
Objektiv?

(In die Zwischenbild ebene müsste es auch sein)

Ich hab an Irisblende gedacht.



d)  $f_{\text{obj}} = 50,2 \text{ mm}$  Analog

$$V = (6 \pm 0,32)$$

$$V_{\text{th}} = 5,98$$

Auch hier sehr guter Wert innerhalb der Fehlergrenzen.

$$f_{\text{obj}} = 12,7 \text{ mm}$$

$$V = (27,5 \pm 6,9)$$

$$V_{\text{th}} = 23,6$$

Ebenfalls innerhalb der Grenzen akzeptabler Wert.

Bei der größten Vergrößerung ( $f_{\text{obj}} = 12,7 \text{ mm}$ ) steht man vor einigen Problemen beim Beobachten, und zwar:

Das Bild erscheint sehr dunkel, man hat offensichtlich immer weniger Helligkeit. Außerdem wird der Farbfehler hier mit vergrößert und der Kontrast wird immer schwächer.

Die Austrittspupille wird sehr klein (Sichtfeld) und ermöglicht so nur einen ganz kleinen Bereich einzusehen. Man müsste diese also vergrößern, was man dadurch erreicht, dass man die Objektivöffnung vergrößert.

e) Man verwendet hier eine Sammellinse, wobei das Zwischensbild in  $2f$  dieser Linse für eine 1:1 Abbildung stehen muss, welche es spiegelumkehrt. Man sieht dann ein aufrechtes Bild.

Wir erwarten, dass die Baulänge sich um  $4f_3$



Verlängert, was sich durch unsere experimentelle Messung bestätigt hat. Diese ergab  $\Delta = (4,6 \pm 0,5) \text{ cm}$ , während  $f_3 = 50,8 \text{ mm}$ .

Innerhalb der Fehlergrenzen stimmen diese Werte überein.

Die Vergrößerung liefert hier mit  $N = 60 \pm 1$   
 $M = 8 \pm 0,5$

$$V = (7,5 \pm 0,49)$$

Da die „Umkehrlinse“ mit  $f_3 = 12,7 \text{ mm}$  das Bild nur umdreht und nicht vergrößert, erwartet man auch hier eine Vergrößerung von

$$V_{\text{th}} = \frac{300 \text{ mm}}{38 \text{ mm}} = 7,9$$

Somit deckt sich der experimentelle Wert innerhalb der Fehlergrenzen mit dem theoretisch ermitteltem Wert.

f) Wir konnten mit dem Galilei Fernrohr leider nicht die gleiche Vergrößerung wie beim terrestrischen Fernrohr erreichen.

Stattdessen haben wir mit  $f_n = -12,7 \text{ mm}$

$$N = 60 \pm 1$$

$$M = 2,5 \pm 0,5$$

erhalten. Das führt zu

$$V = (24 \pm 4,80) \quad \text{mit } f_{\text{obj}} \text{ wieder gleich } 300 \text{ mm.}$$

$$V_{\text{theo}} = \frac{f_o}{|f_n|} = 23,62$$

Stimmt also wieder sehr gut mit Erwartung überein.

Den großen Fehler kann man dadurch rechtfertigen, dass es sehr schwer war, den Versuchsaufbau richtig zu justieren und Scharf zu stellen.



Für eine gleiche Vergrößerung wie beim terr. Fernrohr hätte man die Sammellinse dort austauschen müssen.

Man hätte dort auch eine Linse mit  $f_{\text{an}} = 127 \text{ mm}$  nehmen können. Wegen des Versuchsaufbaus hätte dies aber von der Länge her schon nicht gepasst.

Die Länge des gal. Fernrohrs ist mit  $l = f_1 + f_2$  ( $f_2 < 0$ ) etwas kleiner als die des terr. Fernrohrs mit  $l = f_1 + f_2 + 4f_3$  ( $f_2 > 0$ )

Ein direkter Vergleich ist bei uns zwar nicht möglich, da nicht alle Linsen gleich waren, allerdings konnten wir auch experimentell einen etwas kürzeren Aufbau beim gal.-Fernrohr messen.

Das Bild war beim Galilei-Fernrohr viel schwerer zu beobachten, es war zu dunkel, hatte sehr viele Abbildungsfehler und war zu stark vergrößert und dadurch unscharf.

g) Wir konnten aus Zeitgründen nur noch das Zwischenbild für das astronomische Fernrohr messen. Für das gal. Fernrohr ist dies sowieso nicht möglich, da kein reelles Zwischenbild entsteht und demnach der Referenzpunkt zum Messen fehlt. Wir haben dabei dann für die Zwischenbildgröße  $1,5 \text{ cm}$  erhalten ( $f_2 = 38 \text{ mm}$ ) und auf der Messlatte  $20 \text{ cm}$  (unbewaffnetes Auge).

Damit:  $V = 13,33$

Doppelte Vergrößerung??

Da wir nur den einen Messwert hier zu haben können wir leider nicht mehr zum Zusammenhang der beiden Größen sagen.

Das hier verstehen  
da alles nicht so  
ganz...



h) Die Entfernung Fernrohrlinse  $\leftrightarrow$  Sektorscheibe haben wir auf  $(5 \pm 0,05)$  cm ausgemessen. Dabei beachtet man im Fehler, dass ein genaues Messen mit dem Maßband schwierig war und nicht genau klar ist, wo die Linse oder der Siemenstern sein Anfang hat.

Die Skalenteilung rechnet man um, indem man benutzt, dass

$$0,5 \text{ Skalenteil} \hat{=} 1 \text{ mm} \Leftrightarrow 5 \text{ Skalenteil} \hat{=} 1 \text{ cm}$$

Mit diesem Durchmesser der grauen Fläche kann man dann den Umfang errechnen und dadurch den Abstand zweier auflösbarer Sektoren  $G$ . Damit erhält man auch den auflösbaren Winkel  $\alpha$  und trägt schließlich  $\alpha$  gegen  $\frac{1}{D}$  auf um  $\lambda$  zu ermitteln.

Wir brauchen:

$$S_{\text{Sekt}} = -S_{\text{Sekt 1}} + S_{\text{Sekt 2}} ; \Delta(S_{\text{Sekt}}) = \sqrt{(\Delta S_{\text{Sekt 1}})^2 + (\Delta S_{\text{Sekt 2}})^2}$$

$$D = 2 S_{\text{Sekt}} ; \Delta D = 2(\Delta S_{\text{Sekt}})$$

$$U = \pi \cdot D ; \Delta U = \pi \cdot (\Delta D)$$

$$G = \frac{U}{36} ; \Delta G = \frac{1}{36} (\Delta U)$$

$$\alpha = \frac{G}{E} ; \Delta \alpha = \sqrt{\left(\frac{\Delta G}{E}\right)^2 + \left(\frac{G}{E^2} (\Delta E)\right)^2}$$

Wir erhalten so also folgende Tabelle in Excel und den dazugehörigen Plot in GnuPlot, mit dessen Hilfe wir über die Steigung  $\lambda$  bestimmen:

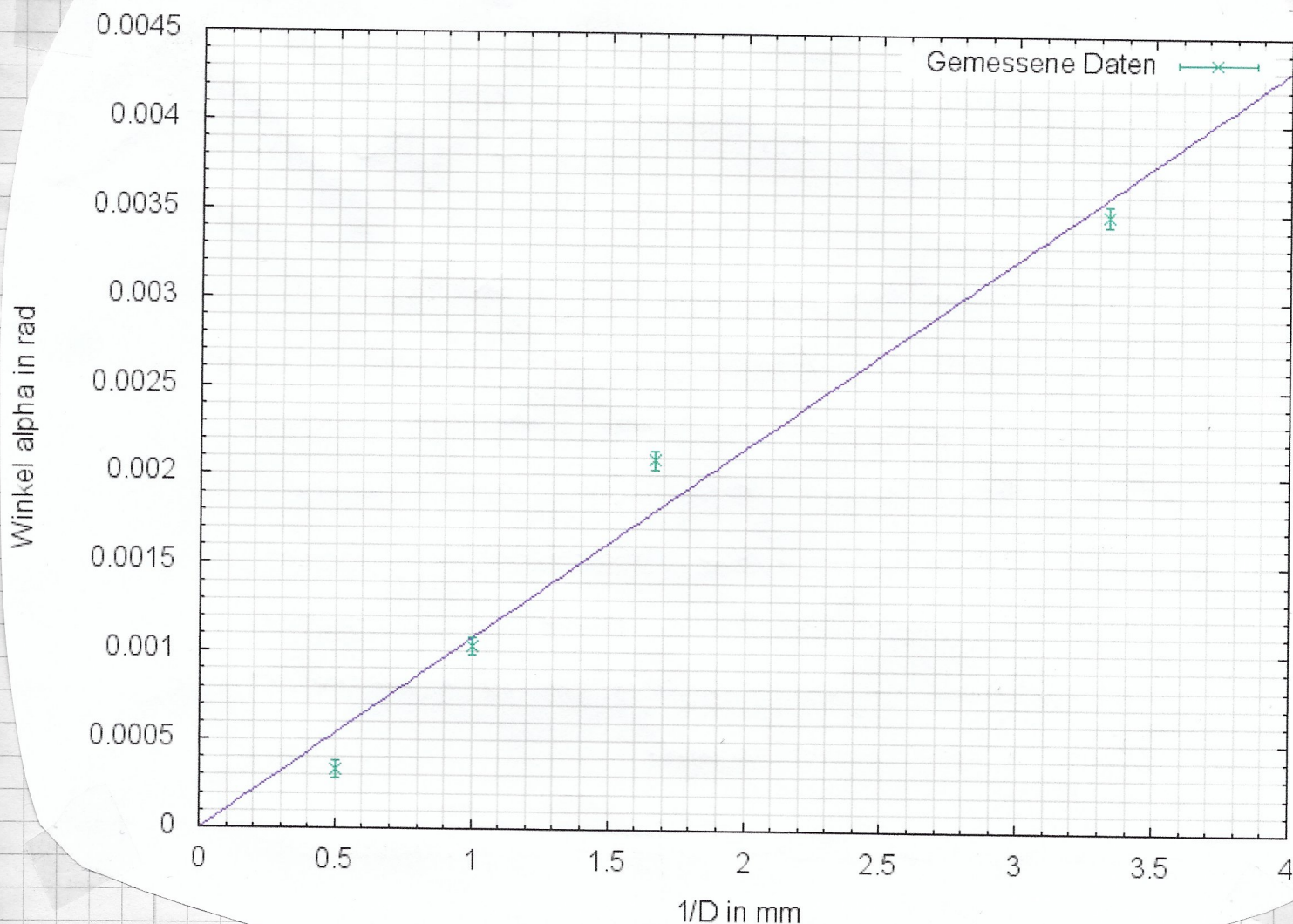
$$\alpha = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$







Alpha gegen 1/D



In GnuPlot erhält man so die fehlerbehaftete Steigung

$$m = (0,00107747 \pm 0,00005605)$$

Da  $m = 1,22 \lambda$  gilt folgt:

$$\lambda = \frac{m}{1,22}, \quad \Delta \lambda = \frac{\Delta m}{1,22}$$

$$\Rightarrow \lambda = (883,172 \pm 45,943) \text{ nm}$$

Da die effektive Lichtwellenlänge eher im grünen Bereich liegen sollte (540nm) haben wir wohl ganz schöne Messfehler gemacht, denn der Wert stimmt nicht in den Größen überein!

Sind es  
Wirklich  
 $\lambda_{eff} = 540 \text{ nm}$ ?



$$\begin{aligned}
 \text{ii)} \quad y &= \frac{0,61 \lambda}{n \cdot \sin(\alpha)} & \alpha &= \frac{1,22 \lambda}{D} \\
 &= \frac{0,61 \lambda}{n \cdot D} \cdot 2f = \frac{1,22 \lambda \cdot f}{n \cdot D} & \left. \begin{array}{l} \text{sehr ähnlich} \\ \Delta y = \frac{1,22 \lambda}{n \cdot D} \Delta f \end{array} \right\}
 \end{aligned}$$

noch  
mehr  
Zusammen-  
hang?

Man sieht aber sofort, dass  $y = \alpha \cdot \frac{f}{n}$  und damit ein direkter Zusammenhang besteht zwischen kleinstem auflösbarem Winkel einer Linse und kleinstem auflösbarem Abstand zweier Objekte beim Mikroskop. Dass diese in einem direkten Zusammenhang stehen ist auch klar, denn ein Mikroskop besteht aus Linsen und der Winkel ist bei bekanntem Abstand äquivalent zu einem Abstand zweier Objekte.

Geht man einmal davon aus, dass die von uns in b) ermittelte Brennweite der Objektivlinse stimmt ( $f = (2,24 \pm 2,98) \text{ mm}$ ), und nimmt als mittlere Wellenlänge  $\lambda = 500 \text{ nm}$ ,  $D = 5 \text{ mm}$ ,  $n = 1$ , so folgt:

$$\begin{aligned}
 \text{alles sehr} \\
 \text{merkenswert,} \\
 \text{haben aber} \\
 \text{keine besseren} \\
 \text{Werte...}
 \end{aligned}
 \quad
 \begin{aligned}
 y &= (0,273 \pm 0,364) \mu\text{m} \\
 \alpha &= 1,22 \cdot 10^{-4} \text{ rad}
 \end{aligned}$$

wobei  $y$  leider wieder sehr fehlerbehaftet ist.

Für das menschliche Auge gilt:  $D \approx 5 \text{ mm}$   
 Die Wellenlänge kann man über die Wellenlänge "mitteln", auf die das Auge am empfindlichsten reagiert (grünes Licht  $\approx 500 \text{ nm}$ ) und erhält damit ebenfalls:

$$\alpha = 0,122 \cdot 10^{-2} \text{ rad}$$



## Fazit:

Der Vorderteil mit dem Mikroskop hat erstaunlicherweise sehr gute Werte für die Abbildungsmaßstäbe bzw.

Vergrößerungen gebracht. Das Verfahren mit dem Überlagern zweier Bilder im Gehirn ist eher ungenau und man hätte hier viel größere Fehler erwarten können.

Ob die errechnete Brennweite für das 20x Objektiv stimmt lässt sich nur schwer sagen, der Wert erscheint allerdings etwas zu klein.

Beim Fernrohr wurde man dann zum ersten Mal mit einigen Problemen konfrontiert. Bei dem  $f = 12,7 \text{ mm}$  Okular

Wurde es beim astronomischen Fernrohr auf Grund der zu starken Vergrößerung und dem knappen Lichteinfall sowie kleinem Sichtfeld sehr schwierig eine genaue Vergrößerung festzustellen, da man die Striche nur sehr schlecht bestimmen konnte.

Das Galilei-Fernrohr hat leider auch eher schlecht funktioniert, wir konnten hier keine passende Einstellung mit den gegebenen Linsen finden, um die gewünschte Vergrößerung zu erreichen.

Beim letzten Vorderteil konnte man die Skala auf dem Sternensystem auch nur sehr ungenau einstellen; es war schwierig zu erkennen, wo genau der graue Bereich aufhörte.

Die „Fein“einstellung des Geräts hatte außerdem die schlechte Eigenschaft, bei jedem zweiten „Klick“ 2 Skalenteile zu springen. Es ist nicht ausgeschlossen, dass trotzdem nur 1mm bewegt wurde. Auch hier führte ein kleinerer Blendendurchmesser zu Schwierigkeiten beim Ablesen.

Protokoll ist okay