P1-41 AUSWERTUNG VERSUCH GEOMETRISCHE OPTIK

GRUPPE 19 - SASKIA MEISSNER, ARNOLD SEILER

1. Bestimmung der Brennweite

1.1. Naives Verfahren zur Bestimmung der Brennweite. Es soll nur mit Maßstab und Schirm die Brennweite einer dünnen Linse bestimmt werden. Wir wählen eine Linse mit Brennweite f=200mm, stellen diese in ca. 70cm Entfernung von der Lichtquelle auf. Durch den Aufbau der Lichtquelle strahlt diese näherungsweiße parallele Strahlen aus. Ist auf dem Schirm ein Gegenstand, z.b. die Glühwendel der Lampe scharf erkennbar, so ist die Entfernung zwischen dem Schirm und der Linse näherungsweiße die Brennweite.

Unsere Messung ergab eine Brennweite von f=303mm was weit vom angegebenen Wert abweicht.

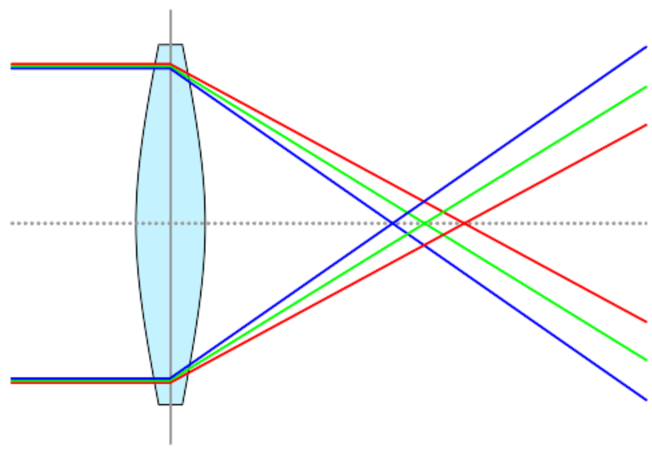
Dieses Verfahren ist sehr ungenau, auch die Annahme der parallel einfallenden Strahlen trifft wohl nicht zu.

1.2. Bessel-Verfahren. Zunächst bestimmen wir noch einmal die Brennweite obiger Linse (f=200mm). Bei diesem Verfahren ist nur der Abstand zwischen Gegenstand und Bild (e) und der Abstand zwischen den beiden Scharfeinstellungen der Linse (a) zu messen. Da wir die genaue Position der Glühwendel in der Lampe nicht kennen, verwenden wir ein Dia, das wir auf den Schirm abbilden.

Die Brennweite erhält man dann durch $f = \frac{e^2 - a^2}{4e}$.

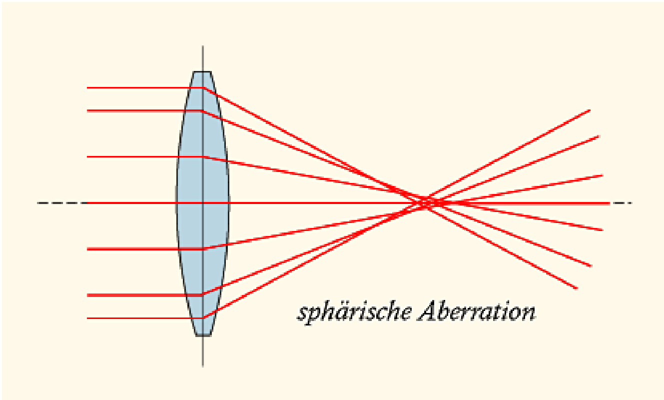
Die Messung im Innen- und Außenbereich der Linse (Loch- bzw. Scheibenblende) bei verschiedenen Farben (Farbgläßer) ergab folgende Werte für die Brennweite:

	weiß	rot	blau
innen	20,02	20,22	20,04
außen	19,87	20,04	19,97


[1]

Chromatische Aberration - blaues Licht hat eine kürzere Brennweite, rotes eine längere

[1]Bild: Chromatische Aberration, Wikipedia, Public Domain



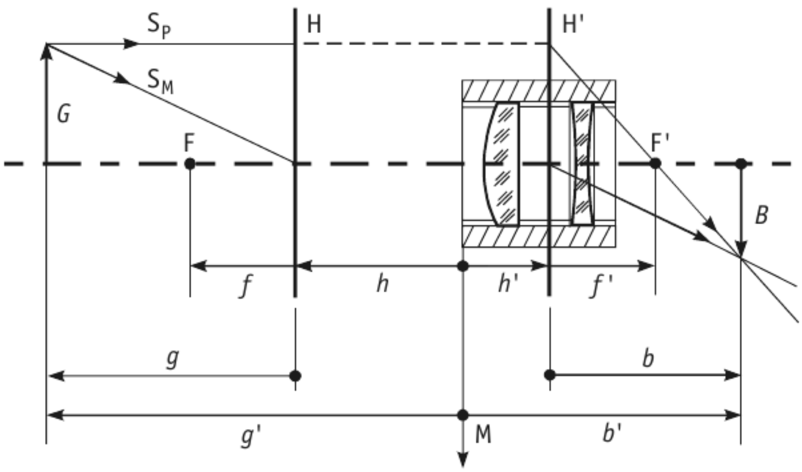
[2]

Sphärische Aberration - im äußeren Bereich ist die Brennweite kürzer

Die Brennweite von rotem Licht ist länger als die von blauem, die Brennweite für weißes Licht sollte jedoch eigentlich dazwischen liegen. Im äußeren Bereich der Linse ist die Brennweite insgesamt etwas kürzer als in der Mitte. Die Brennweite stimmt mit der Angegebenen im Gegensatz zum ersten Messverfahren überein. Allgemeinere Aussagen lassen sich aus diesem Versuch noch nicht gewinnen, da nur eine Linse untersucht wurde. Bei der Ermittlung der Scharfeinstellungen für die Linse muss man teilweiße das sehr kleine Bild mit dem Auge betrachten und abschätzen, ob es scharf ist oder nicht, was zu Fehlern führt. Dies ist sehr ermüdend für die Augen und bei rotem bzw. blauem Licht noch schwieriger. Auch wäre es möglicherweiße besser gewesen, ein Dia mit Muster statt des Fotodias als Gegenstand einzusetzen.

1.3. **Abbe-Verfahren.** Nun soll die Brennweite eines zwei-Linsen-Systems ermittelt werden.

Gemessen werden der Abstand vom Bild zu einer Marke b', der Abstand von der Marke zum Schirm g' und die Vergrößerung $\gamma = \frac{B}{G}$.



Die Grafik verdeutlicht, was mit den verwendeten Zeichen gemeint ist [3]

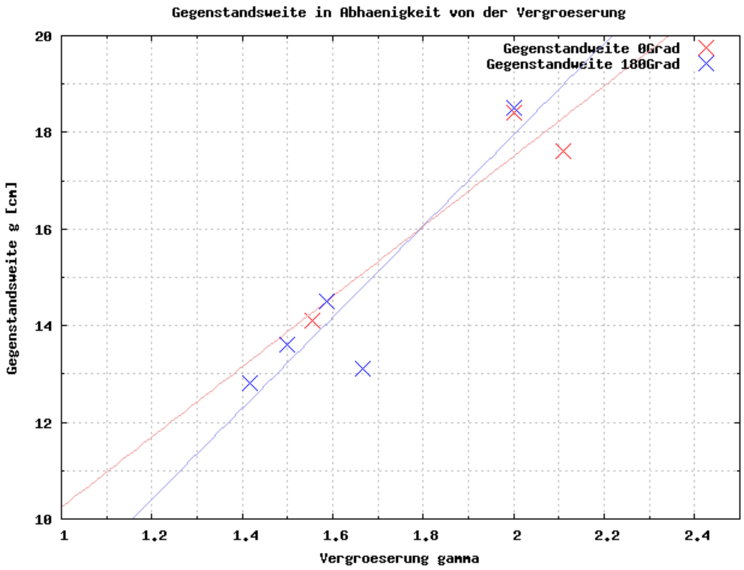
Nach einer Absprache mit der Versuchsbetreuerin änderten wir das Messverfahren. Sowohl Gegenstand als auch Schirm blieben fest, die Linse wurde um kleine

[2]Bild: Sphärische Aberration, Wikipedia, GNU Freie Dokumentationslizenz

[3]Bild: Aus „Versuchsanleitung O2 : ABBEsches Verfahren; Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (FH) Fachbereich Informatik, Mathematik und Naturwissenschaften Physikalisches Praktikum / Wintersemester 2007/2008“

Abstände verschoben. Die Vergrößerung wurde jeweils gemessen. Leider liegen die Messwerte dann sehr nahe beieinander, was die lineare Regression nutzlos macht und unbrauchbare Ergebnisse lieftert. Daher nur Messungen mit einem Linsenabstand:

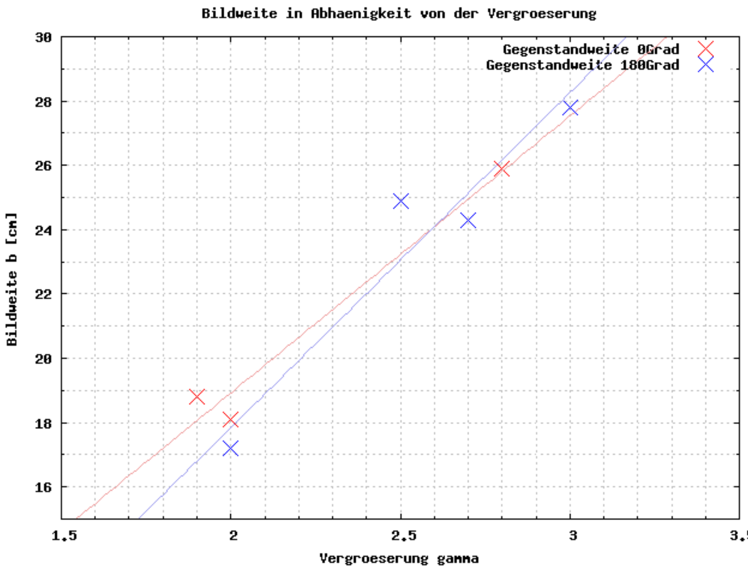
Gegenstandsweite $g^{'}$ in Abhängigkeit von der Vergrößerung γ (bzw. $1 + \frac{1}{\gamma}$)



Gegenstandsweite und Vergrößerung - normal (rot) und um 180° gedreht (blau)
Ausgleichsgeraden:
Gegenstandsweite normal (rot): $g_0^{'} = f \cdot (1 + \frac{1}{\gamma}) + h_{g0} = (7 \pm 3)cm \cdot x + (3 \pm 5)cm$
Gegenstandsweite gedreht (blau): $g_{180}^{'} = f \cdot (1 + \frac{1}{\gamma}) + h_{g180} = (9 \pm 2)cm \cdot x - (1 \pm 4)cm$

Aus den Ausgleichsgeraden lässt sich die Brennweite f und der Abstand der Hauptebenen zur Marke h ablesen.

Analog dazu kann man die Bildweite $b^{'}$ in Abhängigkeit von γ (bzw. $1 + \gamma$) darstellen:



Bildweite und Vergrößerung - normal (rot) und um 180° gedreht (blau)
Ausgleichsgeraden:

Bildweite normal (rot): $b_0' = f \cdot (1+\gamma) + h_{b0} = (9 \pm 2)cm \cdot x + (2 \pm 4)cm$
Bildweite gedreht (blau): $b_{180}' = f \cdot (1+\gamma) + h_{b180} = (10 \pm 1,2)cm \cdot x - (3 \pm 3)cm$
Die Brennweite sollte bei allen Messungen gleich sein. Bei den Hauptebenenabständen ist $h_{g0} = h_{b180}$ und $h_{g180} = h_{b0}$, da die entsprechende Hauptebende durch das Umdrehen gerade auf der anderen Seite liegt (die Bildhauptebene bei 0° ist dann die Gegenstandshauptebene bei 180°). Die lineare Regression unter der Annahme, dass die Brennweiten bei allen Geraden gleich sind, ergibt eine Brennweite von $f = (9,9 \pm 0,4)cm$.

Da wir den Abstand der Linsen nicht notiert haben und auch keine zweite Messreihe haben, können wir leider nicht sagen, wie gut dieser Wert mit der Konfiguration übereinstimmt. Die Brennweite des Gesamtsystems lässt sich aus den Brennweiten der Einzellinsen f_1 und f_2 und deren Abstand d ableiten: $\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}$

2. Aufbau optischer Instrumente

2.1. Fernrohr.

2.1.1. *Kepler-Fernrohr.*
Es soll ein Keppler-Fernrohr mit mindestens 6x Vergrößerung gebaut werden. Dieses wird auf der kleinen optischen Bank aufgebaut, damit man es auf entfernte Objekte ausrichten kann. Wir haben als Objektiv eine Linse mit $f_1 = 300mm$ Brennweite gewählt und als Okular eine Linse mit $f_2 = 50mm$. Dies entspricht der geforderten Vergrößerung von $\beta = \frac{f_1}{f_2} = 6$. Der Bauweise des Keppler-Fernrohrs zu folge sollen diese mit einem Abstand von $f_1 + f_2 = 350mm$ aufgebaut werden, wir benötigten jedoch einen Abstand von ca. 370mm, um ein scharfes Bild zu erhalten - allerdings betrachteten wir auch Objekte in endlicher Entfernung (ca. 8m).

Zudem haben wir noch ein Objektiv mit 500mm getestet, was einer Vergrößerungsfaktor $\beta = 10$ entspricht. Auch hier war ein Abstand von 560mm statt 550mm notwendig.

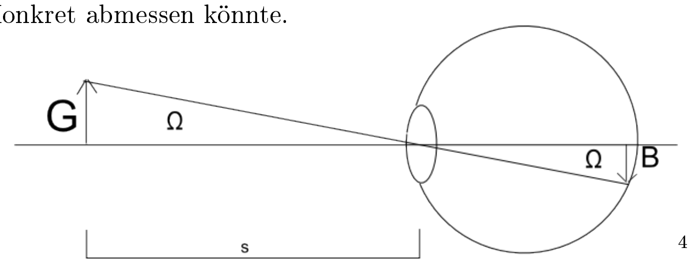
Zu sehen ist ein stark vergrößertes Bild, das - wie erwartet - auf dem Kopf steht und Seitenverkehrt ist. Die Leuchten an den Stromverteilerleisten eignen sich gut, um das Fernrohr zu testen und scharf zu stellen, da sie Lichtstark und gut zu erkennen sind.

2.1.2. *Galileo-Fernrohr.*
Wie das Keppler-Fernrohr soll auch ein Galileo-Fernrohr aufgebaut werden. Hier verwendeten wir wieder das Objektiv mit $f_1 = 500mm$, als Okular jedoch eine Zerstreuungslinse mit $f_2 = -50mm$. Die Vergrößerung entspricht der unseres zweiten Keppler-Fernrohrs, das Sehfeld ist jedoch eingeschränkt, wodurch die Vergrößerung weniger stark wirkt. Außerdem ist das Bild richtig herum zu sehen.

2.2. Dia-Projektor.
Nun wird die Vergrößerung umgekehrt verwendet und ein Dia an die Wand in ca. 1,5m Entfernung projeziert. Das Dia wird sehr nahe an der Lichtquelle angebracht, um eine optimale Ausleuchtung zu erzielen. Als Objektiv verwenden wir eine Linse mit $f_1 = 100mm$. Mit dem Dia, auf dem ein Maßstab abgebildet ist, messen wir die Vergrößerung $\beta = 14,8$.

Um eine bessere Ausleuchtung zu erzielen, bringen wir zwischen Lichtquelle (die bereits eine Linse fest enthält) und Dia eine weitere Linse mit $f = 200mm$, um das Licht besser auf das Dia zu bündeln. Das Objektiv bleibt unverändert, die Vergrößerung ebenso. (Wir messen $\beta = 15$, was im Rahmen der Messungenauigkeit liegt).

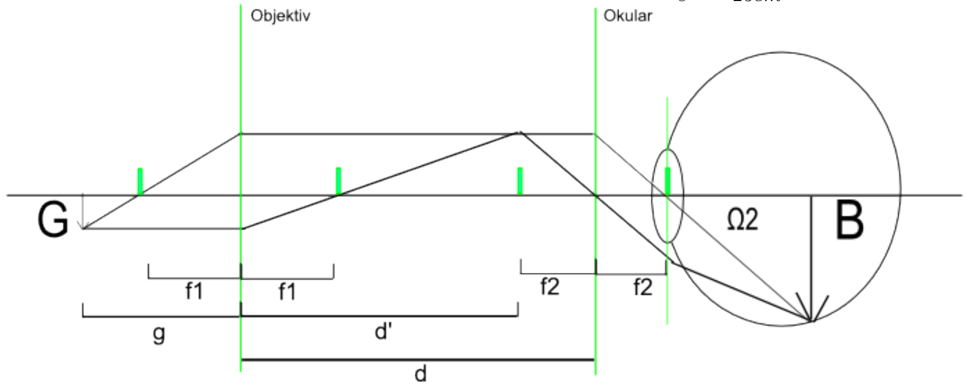
2.3. **Mikroskop.** Ein weiteres wichtiges optisches Gerät ist das Mikroskop. Wir bauen ein sehr einfaches Modell, bestehend aus zwei Sammellinsen auf. Dieses ist dem Kepler-Fernrohr recht ähnlich, jedoch mit anderen Abständen. Das Objektiv projeziert das Objekt vergrößert in ein virtuelles Zwischenbild. Die starke Vergrößerung erhält man, weil man dieses Zwischenbild mit einer weiteren Linse, die als Lupe wirkt, betrachtet. Die Vergrößerung errechnet man hier jedoch über die Sehwinkel des menschlichen Auges - man hat ja auch kein Bild, an dem man diese Konkret abmessen könnte.



[4]

Sehwinkel ohne Mikroskop - Winkel Ω

Normalerweise gilt für den Sehwinkel ungefähr $tan(\Omega) = \frac{G}{s} = \frac{G}{25cm}$.



Sehwinkel mit Mikroskop - der Winkel Ω ist wesentlich Größer als er ohne Hilfsmittel wäre

Mit dem Mikroskop ist der Winkel jedoch größer:

Da der Gegenstand sehr nahe am Brennpunkt des Objektivs ist, verwendet man normalerweise $g \approx f_1$.

$tan(\Omega_2) = \frac{G'}{f_2} = \frac{d' \cdot G}{g \cdot f_2} \approx \frac{(d-f_2) \cdot G}{f_1 \cdot f_2}$.

Für die Winkelvergrößerung gilt dann für kleine Winkel (d.h. $tan(\Omega) \approx \Omega$):

$\gamma = \frac{\Omega_2}{\Omega} \approx \frac{tan(\Omega_2)}{tan(\Omega)} = \frac{(d-f_2) \cdot 25cm}{f_1 \cdot f_2}$ bzw. hier $\gamma = \frac{d \cdot 25cm}{d' \cdot f_2}$.

Da wir leider vergessen haben, die Brennweiten zu notieren, können wir nur die vermutete Vergrößerung angeben. Die verwendeten Brennweiten lassen sich jedoch eingrenzen: Als Objektiv kam vermutlich die Linse mit $f_1 = 10cm$ zum Einsatz (was hier jedoch keine Rolle spielt), als Okular höchstwahrscheinlich die Linse mit $f_2 = 5cm$. Somit ergibt sich für die Abstände $g = 17,5cm$ und $d = 28cm$ (die wir notiert haben) eine Vergrößerung von $\gamma = 6$.

[4]Bilder: Selbst erstellt mit Inkscape