

# Versuchsauswertung P1-31: Geometrische Optik

Kathrin Ender, Michael Walz  
Gruppe 10

2. Januar 2008

## Inhaltsverzeichnis

<b>0</b>	<b>Zur Auswertung</b>	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Brennweitenbestimmung</b>	<b>2</b>
1.1	Brennweite einer dünnen Linse . . . . .	2
1.2	Besselsches Verfahren . . . . .	2
1.3	Abbésches Verfahren . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Aufbau optischer Instrumente</b>	<b>4</b>
2.1	Fernrohre . . . . .	4
2.1.1	Keplersches Fernrohr . . . . .	4
2.1.2	Galileisches Fernrohr . . . . .	4
2.2	Projektionsapparat . . . . .	4
2.3	Mikroskop . . . . .	5

## 0 Zur Auswertung

Alle Messwerte befinden sich im handgeschrieben angehängten Versuchsprotokoll. Diese Werte wurden am Computer abgetippt und dem Programm GNUPLOT<sup>1</sup> zur linearen Regression übergeben und die Werte für Steigung und Y-Achsenabschnitt von dort übernommen. GNUPLOT nutzt zur linearen Regression die Formeln 16–18 aus dem Fehlerrechnungsskript zum Praktikum.

Die meisten Messwerte mussten aufgrund der Ablesekalen (oder aus sonstigen Gründen) noch umgerechnet werden. Aufgrund des massiven Rechenaufwandes erledigten wir dies direkt am Computer unter GNUPLOT mittels der Option „using“<sup>2</sup>; sowohl bei der Regression (über „fit“) wie auch beim Erstellen der Graphen (über „plot“).

Bei den Fällen, bei denen keine Schaubilder und keine Regressionen notwendig waren, wurden die Daten an eine Tabellenkalkulation übergeben und dort entsprechend bearbeitet.

## 1 Brennweitenbestimmung

### 1.1 Brennweite einer dünnen Linse

Es sollte nur mit Hilfe eines Maßstabes und eines Schirms die Brennweite einer dünnen Sammellinse bestimmt werden. In der Vorbereitung war unsere Idee, dies mit parallel einfallendem Sonnenlicht zu realisieren. Leider lag Karlsruhe am Versuchstag unter einer geschlossenen Wolkendecke, sodass wir ohne weitere Hilfsmittel nur diffuses Tageslicht zu Verfügung hatten. Damit ließ sich die Aufgabe aus unsere Sicht nicht mehr bewältigen. Eine Rücksprache mit unserer Betreuerin lieferte lediglich, dass wir doch die vormontierte Lichtquelle benutzen sollten.

Das Licht der vormontierten Lichtquelle richteten wir auf eine auf der Schiene montierten Sammellinse mit einer angegebenen Brennweite von 200 mm und bewegten den Schirm nun so auf der Schiene hin und her, dass das Licht möglichst punktförmig auf den Schirm fokussiert wurde. Allerdings ergab sich bei weißem Licht überhaupt kein punktförmiger Fokus; eine Gegebenheit, die nicht sonderlich verwundert, da Lichtstrahlen unterschiedlicher Wellenlängen unterschiedlich gebrochen werden. Die Bildung des Mittelwerts über die verschiedenen Messungen lieferte dann für den Abstand der Linse zum Schirm<sup>3</sup> einen Wert von 219,5 mm.

### 1.2 Besselsches Verfahren

Wie in der Vorbereitung beschrieben, sollen im Folgenden zwei Arten von Abbildungsfehler untersucht werden: die sphärische und die chromatische Aberation. Wir verwenden wieder die obige Linse mit einer angegebenen Brennweite von 200 mm und erwarteten für rotes Licht größere Brennweiten als für blaues Licht. Ebenso erwarten wir für achsennahe Strahlen größere Brennweiten als für achsenferne.<sup>4</sup>

Beim Besselverfahren wird ausgenutzt, dass es für große (aber konstante) Abstände  $e$  zwischen Gegenstand und Schirm, zwei Linsenstellungen gibt, für die das Bild auf dem Schirm scharf wird. Über den Abstand  $d$  dieser beiden Stellungen kann nun über die Formel aus der Vorbereitung die Brennweite der Linse bestimmt werden.

$$f = \frac{e^2 - d^2}{4e} = \frac{1}{4} \left( e - \frac{d^2}{e} \right)$$

---

<sup>1</sup><http://www.gnuplot.info/>

<sup>2</sup><http://www.gnuplot.info/docs/node133.html>

<sup>3</sup>also für die Brennweite der Linse

<sup>4</sup>vgl. Vorbereitung

Um die verschiedenen Aberrationen zu messen, waren am Versuch ein rotes und ein blaues Farbglas und aufsteckbare Loch- und Scheibenblenden vorhanden. Wir maßen bei konstantem  $e$  jede Stellung drei Mal und mittelten anschließend über die Werte. Bei der Messung dieser drei Messwerte wechselten wir uns immer ab, um Messungenauigkeiten, die aus der subjektiven Scharfstellung resultieren, möglichst gering zu halten. Als Dia nahmen wir das schwarz-weiß-Porträt, damit ein Scharfstellen beurteilbar ist. Dabei ergab sich das Problem, dass das Bild subjektiv in einem ganzen Bereich scharf erschien. Wir versuchen dann immer die Mitte des Intervalls zu treffen. Das Bild wurde fest bei 130 cm auf der Schiene befestigt. Anschließend wurde der Abstand  $e$  noch verändert und die ganze Messung wiederholt.

Damit ergaben sich folgende Messreihen (in chronologischer Reihenfolge):

Farbe	Achsen-	Schirm	1. Stellung	2. Stellung	$d$	$e$	$f$
rot	nah	25 cm	51,53 cm	101,70 cm	50,17 cm	105 cm	20,26 cm
rot	fern	25 cm	51,23 cm	101,83 cm	50,60 cm	105 cm	20,15 cm
blau	fern	25 cm	50,90 cm	102,23 cm	51,33 cm	105 cm	19,98 cm
blau	nah	25 cm	51,23 cm	102,07 cm	50,84 cm	105 cm	20,10 cm
blau	nah	45 cm	76,97 cm	96,40 cm	19,43 cm	85 cm	20,14 cm
blau	fern	45 cm	76,33 cm	96,90 cm	20,57 cm	85 cm	20,01 cm
rot	fern	45 cm	76,97 cm	96,20 cm	19,23 cm	85 cm	20,16 cm
rot	nah	45 cm	77,83 cm	95,77 cm	17,94 cm	85 cm	20,30 cm

Die Spalten „Schirm“, „1. Stellung“ und „2. Stellung“ bezeichnet jeweils die Position auf der Schiene.

Sortiert man die Ergebnisse nun nach Brennweite erhält man folgendes Bild:

Farbe	Achsen-	Schirm	$f$	$f_{\text{Mittelwert}}$
blau	fern	25 cm	19,98 cm	19,99 cm
blau	fern	45 cm	20,01 cm	
blau	nah	25 cm	20,10 cm	20,12 cm
blau	nah	45 cm	20,14 cm	
rot	fern	25 cm	20,15 cm	20,16 cm
rot	fern	45 cm	20,16 cm	
rot	nah	25 cm	20,26 cm	20,28 cm
rot	nah	45 cm	20,30 cm	

Dies deckt sich mit den Erwartungen, die für rotes Licht größere Brennweiten als für blaues Licht voraussagten und für achsennahe Strahlen größere Brennweiten als für achsenferne. Zu Bemerkem ist noch, dass die Brennweiten bei der zweiten Schirmposition<sup>5</sup> immer etwas größer sind, als die bei der ersten Schirmposition<sup>6</sup>. Dies spricht für einen nicht in die Rechnung einbezogenen systematischen Fehler bei einer der beiden Messreihen.

Ebenso sieht man, dass die Messung relativ genau war, da wir die kleine Brennweitenabweichungen richtig messen konnten. Das spricht dafür, dass die Brennweite der Linse relativ genau bei 20 cm liegt, und die Messung von Aufgabe 1.1 relativ ungenau ist.

<sup>5</sup>also bei  $e = 85$  cm

<sup>6</sup> $e = 105$  cm

### 1.3 Abbésches Verfahren

## 2 Aufbau optischer Instrumente

### 2.1 Fernrohre

#### 2.1.1 Keplersches Fernrohr

Unser Keplerfernrohr bestand aus einer Sammellinse mit einer Brennweite von 50mm als Okular und einer Sammellinse mit einer Brennweite von 500mm als Objektiv. Für den Abstand zwischen den beiden Linsen wählten wir die Summe der beiden Brennweiten, also 55cm<sup>7</sup>. Damit erreichen wir natürlich nicht die geforderte 6-fache Vergrößerung, sondern rechnerisch eine 10-fache Vergrößerung. Dies nahmen wir in Kauf, da uns auf Grund unseres Linsenvorrats<sup>8</sup> und der Einschränkung, dass wir das Okular beim Galileischen Fernrohr durch eine Zerstreuungslinse genau negativer Brennweite austauschen mussten, keine bessere Kombination der Linsen möglich war.

Zum Messen der Vergrößerung wollten wir zuerst zwei unterschiedlich lange Kreidestriche an die Tafel malen und versuchen, den einen Strich durch das Fernrohr und den anderen mit dem anderen Auge ohne Fernrohr zu betrachten. Wenn wir es geschafft hätten, die beiden Striche gleich lang zu sehen, hätte man am Verhältnis der Längen die Vergrößerung des Fernrohrs ablesen können. Leider gelang uns das weder beim Keplerschen noch beim Galileischen Fernrohr. Um ein scharfes Bild zu erhalten mussten wir uns beide so auf das Bild im Fernrohr konzentrieren, dass wir das Bild des anderen Auges überhaupt nicht mehr wahrnahmen. Diskussionen nach dem Versuch mit Kommilitonen ergaben, dass dies ein speziell bei Brillenträgern manchmal auftretendes Problem sei.

Nach Rücksprache mit unserer Betreuerin versuchten wir die Vergrößerung „by eye“ zu schätzen. Wir betrachteten dazu die Steine an der Außenwand des Gerthsenhösrsaals und stellten fest, dass die Vergrößerung zwischen 5-facher und 20-facher Vergrößerung liegen muss.

Ohne Probleme konnte wir feststellen, dass das Bild, das wir durch das Fernrohr betrachteten, auf dem Kopf stand.

#### 2.1.2 Galileisches Fernrohr

Beim Galileischen Fernrohr bestand unser Okular aus einer konkaven Linse mit einer Brennweite von -50mm. Für den Abstand der beiden Linsen wählten wir nun die Differenz der beiden Brennweiten, also 45cm<sup>9</sup>. Die Vergrößerung blieb im Vergleich zu Kepler näherungsweise erhalten. Gefühlsmäßig war die Vergrößerung etwas besser als beim Keplerschen Fernrohr. Dies mag evtl. an einer nicht exakten Übereinstimmung der Beträge der Brennweiten der Okulare liegen. Oder vielleicht auch daran, dass das Bild durch das Galileische Fernrohr angenehmer zu betrachten war, was mitunter daran lag, dass das entstehende Bild nun aufrecht stand.

### 2.2 Projektionsapparat

Wir wählten aus unserem Linsenvorrat eine Linse mit einer Brennweite von 150mm. Als Dia verwendeten wir das Dia mit dem Testbild. Als Gegenstandsweite berechneten wir  $g =$

---

<sup>7</sup>vgl. Vorbereitung

<sup>8</sup>An unserem Versuchstisch waren Linsen mit folgenden Brennweiten vorhanden: 40mm, 50mm, 70mm, 90mm, 150mm, 200mm, 500mm, 1000mm, -50mm, -50mm, -100mm. Die Linse mit 50mm Brennweite war anfangs nicht an unserem Versuchstisch (auch wenn sie laut Beschriftung dort hingehörte), sondern zu einem anderen Versuch gewandert.

<sup>9</sup>vgl. Vorbereitung

165 mm, sodass wir eine scharfe 10-fache Vergrößerung bei 1,65 m erwarteten. Die 10-fache Vergrößerung konnten wir experimentell bei ca. 1,6 m feststellen, aber scharf wurde das Bild komischerweise schon im Abstand von  $b = 1,3$  m zur Linse und nicht wie erwartet bei 1,6 m.

Dies könnte dran liegen, dass die von uns verwendete Linse nicht exakt die Brennweite von 150 mm besaß. Mit den von uns gemessenen Daten ergibt sich ein Wert, der nach unseren Einschätzung durchaus im Rahmen der Herstellungsgenauigkeit der Linsen liegt.

$$f = \frac{1}{\frac{1}{g} + \frac{1}{b}} = 146 \text{ mm}$$

### 2.3 Mikroskop

Unser Mikroskop bestand aus zwei Sammellinsen mit den Brennweiten  $f_1 = 150$  mm und  $f_2 = 40$  mm. Als zu betrachtendes Objekt wählen wir die Oberfläche eines Stoffmäppchens. Dieses positionierten wir ca. 15 cm entfernt vom Objektiv. Ein scharfes Bild erhielten wir für Abstände der beiden Linsen zwischen 47 cm und 70 cm. Die Vergrößerung des Mikroskops stieg mit wachsendem Abstand der Linsen, was mit der Theorie überein stimmt. „By eye“ schätzen wir, dass eine Vergrößerung von 20 im angegebenen Intervall recht weit an der oberen Grenze liegen müsste. Für eine Vergrößerung von 20 hätte man mit der Formel aus der Vorbereitung

$$\beta_{\text{Gesamt}} = \frac{t \cdot s_0}{f_1 \cdot f_2}$$
$$\Rightarrow t = \frac{20 \cdot 15 \text{ cm} \cdot 4 \text{ cm}}{25 \text{ cm}} = 48 \text{ cm}$$

einen Abstand von  $t + f_1 + f_2 = 67$  cm benötigt.