

Astrophysikalisches Praktikum

Versuch 6 Teleskope und Astrometrie

Aleksandra Snoch
und
Tim Rogoschinski

6. September 2018

Institut für Angewandte Physik

Fachbereich 13 (Physik)

Johann Wolfgang Goethe-Universität

Frankfurt am Main

Inhaltsverzeichnis

1 Teleskope

2 Untersuchung einer Fotoplatte

2.1 Abbildungsmaßstab

2.2 Abbildungsgüte

3 Eigenbewegung eines Schnellläufers

1. Teleskope

Ein Teleskop beruht immer auf dem gleichen Prinzip, das Objektiv entwirft ein Bild eines Objekts, das aufgezeichnet, vermessen oder durch ein Okular betrachtet werden kann [Q8, S.224].

Seit dem 17. Jahrhundert sind zwei herkömmliche Teleskoparten bekannt: Das Galileische Fernrohr und das Keplersche Fernrohr. Das Galileische Fernrohr erzeugt ein aufrechtes Bild, wohingegen das Keplersche Fernrohr ein reelles Bild in der Brennfläche erzeugt, das visuell durch ein Okular betrachtet wird und beispielsweise das Einfügen eines Fadenkreuzes zur genauen Einstellung von Winkeln erlaubt [Q3; S.125]. Wobei die Vergrößerung des jeweiligen Teleskops durch das Verhältnis der Brennweiten von Objektiv und Okular bestimmt wird. Zusätzlich werden die Eigenschaften eines Teleskops durch Abbildungsmaßstab, Gesichtsfeld, Lichtstärke und Auflösungsvermögen bestimmt, auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll [Q8, S.225 bis 229]. Im Folgenden soll noch einmal näher auf drei optische Teleskope eingegangen werden: Das Original-Cassegrain, das Ritchey-Chretien- und das Dall-Kirkham-System. Abbildung 0 zeigt eine

schematische Darstellung des Original-Cassegrain-Systems, wobei deutlich wird, dass das einfallende Licht auf einen konkav-parabolischen Hauptspiegel trifft, der das Licht zu einem konvex-hyperbolischen Fangspiegel (Sekundärspiegel) reflektiert [Q9] und die Beobachtung

dann hinter dem durchbohrten Hauptspiegel erfolgt. Beim Ritchey-Chretien-System wird dagegen ein hyperbolischer Hauptspiegel sowie gegenüber dem Cassegrain-System ein stärker hyperbolischer Sekundärspiegel verwendet.

Im Gegensatz dazu findet beim Dall-Kirkham-System ein elliptischer Hauptspiegel und ein sphärischer Sekundärspiegel Verwendung [Q8, S. 233].

Bei den drei genannten optischen Teleskoparten handelt es sich um Spiegelteleskope, die frei von chromatischer sowie sphärischer Abberation sind [Q8, S.232].

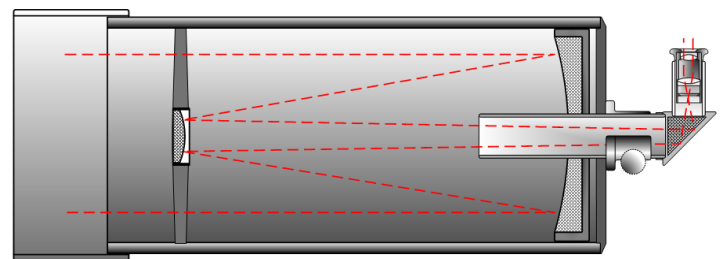


Abbildung 0: Schematische Darstellung des Original-Cassegrain-Systems [Q9]

2. Untersuchung einer Fotoplatte

In diesem Abschnitt wird die Untersuchung eines Negativ-Abzugs einer Fotoplatte präsentiert [siehe Q1]. Dabei wird auf die Untersuchung des Abbildungsmaßstabs und der Abbildungsgüte dieser eingegangen. Die Fotoplatte entstand am Bruce-Astrografen der Landessternwarte Heidelberg-Königstuhl und zeigt einen Himmelsausschnitt des Sternbilds Leier. Abbildung 1 zeigt das gesamte Sternbild Leier, wobei es im zu untersuchenden Himmelsausschnitt hauptsächlich um die beiden Sterne β und γ geht. Tabelle 1 enthält die Koordinaten der beiden Sterne β und γ . Wobei RA die Rektaszension, δ die Deklination und mag die scheinbare Helligkeit des jeweiligen Sterns angibt.

Die Orientierung der Fotoplatte ergibt sich aus der Überlegung, dass das Betrachten der Fotoplatte einem Blick in den Himmel entspricht. Somit liegt Norden oben, Süden unten, Westen rechts und Osten links.

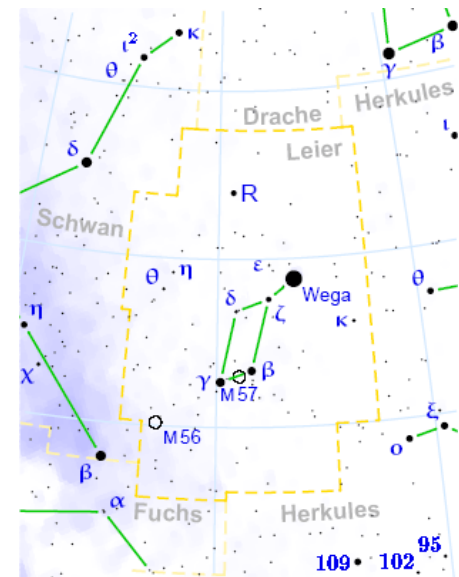


Abbildung 1: Sternbild Leier [Q2]

Stern	RA	δ	mag
β	18h 50min 35.42s	$33^\circ 22' 34.8''$	3.52
γ	18h 59min 27.59s	$32^\circ 42' 21.8''$	3.25

Tabelle 1: Koordinaten der beiden Sterne β und γ

2.1 Abbildungsmaßstab

Um den Abbildungsmaßstab ω bestimmen zu können, wird die Rektaszensionsdifferenz ΔRA und die Deklinationsdifferenz $\Delta\delta$ zwischen β und γ berechnet. Mithilfe des Abstands $s_{\beta\gamma} = 7\text{cm}$ zwischen β und γ auf der Fotoplatte und der Verknüpfung von ΔRA und $\Delta\delta$ über den Satz des Pythagoras ergibt sich ω in der Einheit $^\circ/\text{cm}$ zu:

$$\omega = \frac{1}{s_{\beta\gamma}} \cdot \sqrt{\Delta\delta^2 + (\Delta RA \cdot \cos(\Delta\delta))^2} \approx \frac{23^\circ}{70 \text{ cm}} \approx 0.32 \frac{^\circ}{\text{cm}}$$

Der Faktor $\cos(\Delta\delta)$ berücksichtigt, dass der Abstand zweier Sterne für ein festes ΔRA von δ abhängt.

Die Größe der hier verwendeten Fotoplatte in Zentimetern beträgt 22,5cm x 29,5 cm, wobei sich ihre Größe in Winkeln mit dem berechneten ω zu $7,39^\circ \times 9,59^\circ$ ergibt.

Die Brennweite f des verwendeten Fernrohrs lässt sich über den Zusammenhang

$$y = f \cdot \tan(\theta)$$

abschätzen. Dabei stellt y die gemessene Strecke auf der Fotoplatte und θ den dazugehörigen Winkel dar. Mit Hilfe des errechneten Werts $f \approx 1,743$ m wären Sonne und Mond auf der Fotoplatte circa 1,5 cm groß.

Um bei dieser f beispielsweise den großen Wagen auf einer Fotoplatte abzubilden, müsste diese circa fünf mal so groß sein wie die in diesem Versuch verwendete Fotoplatte.

2.2 Abbildungsgüte

Die gleichmäßige, fehlerfreie und isometrische Wiedergabe eines Himmelsausschnitts stellt die größte Herausforderung bei der Konstruktion eines Astrografen dar. Da dies im Allgemeinen nicht realisiert werden kann, wird im Folgenden beispielhaft untersucht, inwieweit die unterschiedlich starke Ausdehnung von Sternbildern auf Fotoplatten ein Abbildungsfehler darstellt.

Zuerst soll am folgenden Beispiel verdeutlicht werden, was die großen Entfernungen zu Sternen von der Erde für eine Auswirkung auf die Aufnahme mit einer Fotoplatte haben.

Der Winkeldurchmesser ϕ eines Sterns, der sich in einer Entfernung D befindet, lässt sich über den folgenden Zusammenhang bestimmen:

$$\phi = 2 \cdot \arctan\left(\frac{d}{2 \cdot D}\right)$$

Dabei beschreibt d den Durchmesser des betrachteten Sterns. Für den Fall unserer Sonne, die sich beispielhaft im Abstand von 0.485 pc zur Erde befinden soll, ergibt sich mit $d = 2 \cdot 6.96 \cdot 10^8 \text{ m}$ $\phi = 5.33 \cdot 10^{-6}^\circ$. Unter Verwendung der Formel für die Brennweite ergibt sich eine Größe von $0.162 \mu\text{m}$ auf der Fotoplatte. Im Vergleich zu den auf der Fotoplatte sichtbaren Sternen wäre diese Sonne winzig.

Betrachtet man außerdem das Auflösungsvermögen α_b

$$\alpha_b = 1.2 \arcsin\left(\frac{\lambda}{D}\right)$$

für das verwendete Fernrohrobjectives mit einem Durchmesser $D=40\text{cm}$ im sichtbaren Wellenlängenbereich von $\lambda=390\text{nm}$ bis $\lambda=700\text{nm}$, ergibt sich ein Auflösungsvermögen von $0.2''$ bis $0.4''$. Anhand der Größe des α_b wird deutlich, dass die Auflösung der Sternabbildung nicht durch α_b bestimmt wird. Vielmehr liefern sowohl der sogenannte Seeing-Effekt [Q4], als auch die Streuung von

Licht an Materie einen Grund für das begrenzte Auflösungsvermögen der untersuchten Negative-Aufnahme der Fotoplate.

Außerdem fällt bei Betrachtung der Aufnahme auf, dass augenscheinlich am Rand der Aufnahme deutlich weniger Sterne liegen als in der Mitte. Dieser Eindruck entsteht dadurch, dass die Aufnahme am Rand unschärfer wird und dadurch Sterne im Vergleich zur Mitte am Rand größer abgebildet werden.

Dadurch wirkt es so, als gäbe es am Rand mehr Sterne, als in der Mitte.

Außerdem deckt eine Fotoplate nur einen bestimmten Helligkeitsbereich ab, was dazu führt, dass bei sehr großer Helligkeit eines Sterns die Fotoplate zu stark belichtet wird, der Punkt des Sterns erscheint besonders groß. Im

Gegensatz dazu führt eine geringe Helligkeit dazu, dass die Fotoplate zu wenig belichtet wird, der Punkt des Sterns erscheint verhältnismäßig zu klein.

3 Eigenbewegung des Schnellläufers BD +18° 2776

In [Q1] befindet sich die Aufnahme des Deep Sky Surveys. Dabei sind vier Sterne markiert, wobei eine Aufnahme der Sterne aus dem Jahr 1954 und eine aus dem Jahr 1992 existiert.

Analog zu Kapitel 2.1 ergibt sich für den Abbildungsmaßstab der Aufnahme

$\omega \approx 115.7 \frac{''}{\text{cm}} \approx 0.032 \frac{^\circ}{\text{cm}}$, wobei für die Berechnung RA und δ ebenfalls aus [Q1] zu entnehmen sind.

Die relativen Eigenbewegungen μ_{RA} , μ_δ und μ des Schnellläufers +18° 2776 ergeben sich aus der zurückgelegten Strecke l in der Zeit von 1954 bis 1992.

Wobei l aus den Aufnahmen in Zentimeter mit Hilfe von ω in Bogensekunden umgerechnet werden kann. Es ergibt sich:

$$\mu_{RA} = \frac{0.2 \text{ cm} \cdot \omega}{38 \text{ yr}} = 10.1 \cdot 10^{-3} \frac{''}{\text{yr}}$$

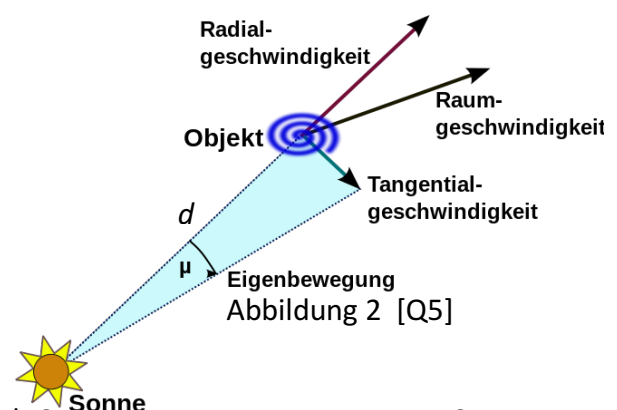
$$\mu_\delta = \frac{0.5 \text{ cm} \cdot \omega}{38 \text{ yr}} = 25.3 \cdot 10^{-3} \frac{''}{\text{yr}}$$

$$\mu = \frac{0.6 \text{ cm} \cdot \omega}{38 \text{ yr}} = 1.827 \frac{''}{\text{yr}} = 8.857 \cdot 10^{-6} \frac{\text{rad}}{\text{yr}}$$

Mit Hilfe von Abbildung 2, der gegebenen Radialgeschwindigkeit $v_{\text{rad}} = 25 \text{ km/s}$ sowie der Entfernung $d = 10.3 \text{ pc}$ des Schnellläufers, lässt sich seine Raumgeschwindigkeit

$$v_{\text{Raum}} = \sqrt{v_T^2 + v_{\text{rad}}^2}$$

ermitteln. Wobei



$$v_T \approx d \cdot \mu \approx 9,12 \cdot 10^{-5} \frac{pc}{yr} = 89,26 \text{ km/s}$$

gilt.

v_{Raum} ergibt sich zu 92,69 km/s.

Um im Allgemeinen Tangentialgeschwindigkeiten zu bestimmen, verwendet man den Dopplereffekt. Dazu vermisst man das Spektrum eines Objekts und vergleicht dessen Spektrallinien mit bekannten Spektrallinien aus Laborversuchen. Demnach ergibt sich eine Rot- bzw. Blauverschiebung, die sich in v_{rad} umrechnen lässt. [Q6]

Den wechselnden Beitrag der Bahnbewegung und Drehung der Erde blendet man aus, indem v_{rad} im Bezug auf die Sonne bestimmt wird [Q3, S. 176].

Abschließend soll im Folgenden noch einmal kurz darauf eingegangen werden, wie mit Hilfe der sogenannten Parallaxemethode die Entfernung zu Sternen bestimmt werden kann.

Betrachtet man beispielsweise seinen Zeigefinger abwechselnd mit dem linken und rechten Auge vor einem weiter entfernten Hintergrund, so scheint der Finger im Bezug auf den Hintergrund hin und her zu springen [Q7]. Diese scheinbare Bewegung wird als Parallaxe bezeichnet und man macht sie sich in der Astronomie zur Entfernungsmessung sonnennaher Sterne zu nutze. Ein nahegelegener Stern wird im Vergleich zum Sternhintergrund von zwei verschiedenen Orten aus betrachtet und es wird seine Parallaxe ermittelt und über geometrische Beziehung sein Abstand. Um wie beim Zeigefinder ein Hin- und Herspringen beobachten zu können, muss die Distanz zwischen den beiden Beobachtungsorten größer sein als wenige Zentimeter wie im Beispiel Zeigefinger. Daher nutzt man den Erdumlaufbahndurchmesser und „fotografiert“ einen Stern im sechsmonatigen Abstand. Eine Trennung von Eigenbewegung und Parallaxe wird durch mehrfache Beobachtung möglich, da die Erde nach einem Jahr wieder an seinen Ursprungsort zurückkehrt und der beobachtete Stern ohne Eigenbewegung somit auch wieder am selben Ort sein müsste [Q7].

Quellenverzeichnis

- [Q1] Versuchsanleitung zu Versuch 6
- [Q2] [https://de.wikipedia.org/wiki/Leier_\(Sternbild\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Leier_(Sternbild))
- [Q3] Albrecht Unsöld und Bodo Baschek, Der neue Kosmos: Einführung in die Astronomie und Astrophysik, Springer, 7. Auflage
- [Q4] <https://de.wikipedia.org/wiki/Seeing>
- [Q5] [https://de.wikipedia.org/wiki/Eigenbewegung_\(Astronomie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Eigenbewegung_(Astronomie))
- [Q6] <https://de.wikipedia.org/wiki/Radialgeschwindigkeit>
- [Q7] <http://www.whv.shuttle.de/whv/kaethekollwitz/astro/entfernen.htm>
- [Q8] H.-J. Röser, W. Tscharnuter und H. Voigt, Abriss der Astronomie, Wiley-VCH, 6. Auflage
- [Q9] <https://de.wikipedia.org/wiki/Cassegrain-Teleskop>