

Von schwarzen Strichen und weißen Punkten

Spektroskopische und astrometrische Untersuchung
mit Hilfe von Photoshop

Béla Voß
Vera Keil
Nils Podewitz

Albert-Einstein-Gymnasium Buchholz

L^AT_EX

11.01.2004

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Instrumente und Arbeitsmittel	2
2.1	Das Teleskop	2
2.2	Die Kamera	3
2.3	Aladin	3
2.4	Verwendete Software	4
2.5	Der Spektrograph	4
2.5.1	Funktionsweise eines Gitters	4
2.5.2	Technische Details zu unserem Spektrographen	4
3	Spektren	5
3.1	Entstehung von Spektren	5
3.2	Aufnahmetechnik	6
3.3	Beschreibung des Effekts	6
3.4	Auswahl der Beobachtungsobjekte	7
3.5	Einordnung von Sternen in Spektralklassen	8
3.6	Mathematische Überlegungen	9
3.6.1	Vorüberlegungen	9
3.6.2	Beispielrechnung	10
3.7	Auswertung	10
4	Eigenbewegung von Sternen	11
4.1	Allgemeine Erläuterungen	11
4.2	Objektauswahl	12
4.3	Durchführung der Nachweisuntersuchung	13
4.3.1	Untersuchung an Lalande 21185	13
4.3.2	Berechnung der Eigenbewegung	13
5	Fazit	15
	Literaturverzeichnis	16

1 Einleitung

„Ich habe keine besondere Begabung, sondern bin nur leidenschaftlich neugierig“

Albert Einstein

Getreu dieser Devise kam die Frage auf, ob es nicht möglich sei, Aufnahmen von Spektren und Sternfeldern mithilfe unserer schulischen Mittel zu untersuchen, wohl wissend, dass dieses normalerweise nur mit professioneller Ausstattung durchgeführt wurde.

Bisher wurden innerhalb unserer Astronomie-AG bereits Aufnahmen von Spektren und Sternfeldern durchgeführt, wobei nun die Idee zum Versuch aufkam, Spektrallinienverbreiterungen bei rotierenden Doppelsternen, wie sie in Simulationen deutlich gezeigt werden, und die Eigenbewegung von Sternen mittels digitaler Bildbearbeitungssoftware zu untersuchen.

In dieser Arbeit haben wir daher einmal allgemein die Phänomene Eigenbewegung, Spektralanalyse und Doppelsternsystem untersucht und anschließend unter Verwendung unserer digitalen Aufnahmen der Spektren untersucht, ob es möglich ist, die theoretisch auftretenden Erscheinungen auch alleine mit schulastronomischen Geräten nachzuweisen.

Anmerkung zu den Bildern Die Druckversion beinhaltet nicht die digitalen Bilder, da es unmöglich ist, die Messungen der Spektren auf Papier wiederzugeben. Auch die anderen Aufnahmen sind wegen des unweigerlichen Qualitätsverlustes nicht Teil des Ausdruckes.

Aus diesem Grund legen wir eine CD bei, die alle Aufnahmen enthält. Somit verhindern wir Qualitätsverlust, sowie hohen Farbverbrauch.

2 Instrumente und Arbeitsmittel

Im folgenden Abschnitt sollen die technische Daten zu den verwendeten Geräten und Arbeitsmitteln erläutert werden.

2.1 Das Teleskop

Das Maksutov-Spiegelteleskop der Astro-AG hat eine Öffnung von 250 mm bei einer Brennweite von 3325 mm. ($f/13.3$)

Für besondere Zwecke (hier: Astrometrie) lässt sich das Öffnungsverhältnis durch einen Brennweitenreduzierer (Shapley-Linse) um den Faktor 0.6x vergrößern, was zu einer höheren Lichtstärke und einem größeren Bildfeld führt.

Das Teleskop wird von Hand positioniert (Einstellung der Sternkoordinaten auf den Teilkreisen der Achsen, bzw. Sucherfernrohr bei helleren Objekten), aber motorisch nachgeführt bzw. gesteuert.

2.2 Die Kamera

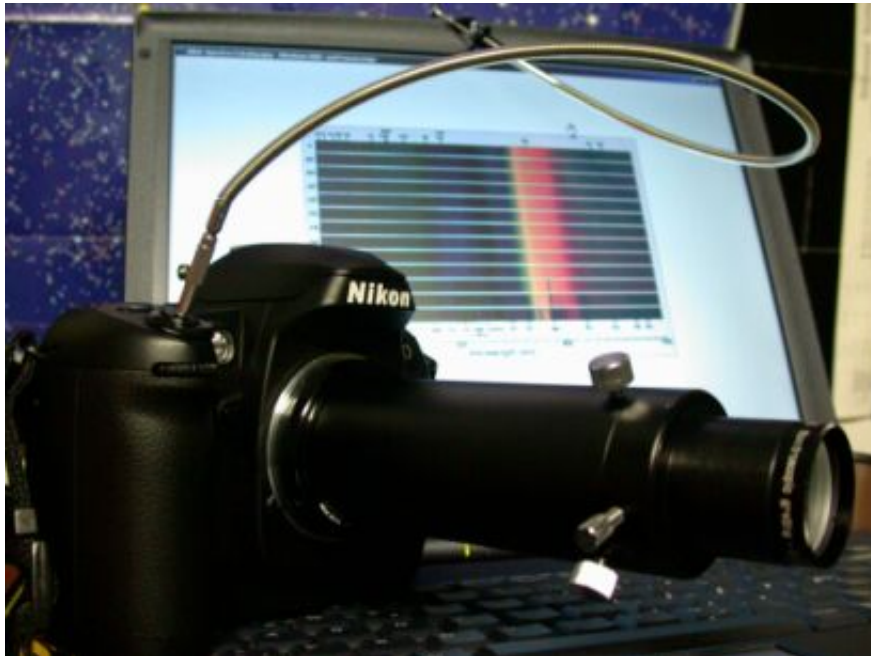


Abbildung 1: Kamera mit Spektrographen

Die beiden Digital-Fotokameras sind für Astrofotografie eine brauchbare Alternative zur digitalen Astrokamera, wobei der Spiegelreflextyp (Nikon D100; ausgeliehen von AG-Partnergymnasium) mit seinem großen CCD-Sensor ohne Zwischenoptiken eine maximale Projektion der Spektren ermöglicht. Für die Sternfeld-Fotos (Astrometrie) erwies sich die „Digikam“-Methode der Amateurastronomen als praktischer: die Kamera (Nikon 995) wird mit dem eingebauten Vario-Objektiv auf ein entsprechendes Okular montiert, wodurch ein breiter Spielraum für Übersichts- und Ausschnittfotos nutzbar ist. Die Anzahl der Zwischenlinsen (bis zu 15!) verschlechtert nicht wesentlich die Abbildung der Sternscheibchen, so dass für die Astrometrie kaum Nachteile entstehen.

Das große Bildfeld des Sensors der D100 (23.7 x 15.6 mm) erlaubt eine Abbildung der 0. Ordnung zusammen mit der H-gamma Linie der 1. Ordnung, so dass die 0. Ordnung als Referenz für eine Vermessung der Linienverschiebung dienen kann.

2.3 Aladin

Für Zwecke der Astrometrie mittels der Pixelkoordinaten des Photoshop-Bildes hält die Messgenauigkeit einem Vergleich mit den Möglichkeiten der Internet-Datenbank Aladin stand.

Aladin ist eine Einrichtung der Universität Straßburg (F), die digitalisierte Sternfeldfotografien aus Aufnahmen bedeutender Sternkataloge (Himmelsdurchmusterungen) im Internet zur Verfügung stellt. Für unsere Zwecke konnte nach Eingabe der

Sternkoordinaten meist aus mehreren Aufnahmen mit unterschiedlicher Auflösung und Beobachtungszeit ausgewählt werden.

2.4 Verwendete Software

Für den „Hausgebrauch“ der Aladin-Datenbank arbeitet unsere Astro-AG mit dem *Redshift 4* Programm, einer verbreiteten Software zur Darstellung des Sternenhimmels. Für unsere Arbeit wurden damit in der Vorauswahl der zu vermessenen Sterne deren Eigenbewegungen simuliert und später mit den eigenen Fotos der entsprechenden Sternfelder auf dem Computermonitor verglichen.

Die Auswertung¹ der Photos und die Pixelabmessungen geschahen mit Hilfe von Adobe Photoshop.

2.5 Der Spektrograph

2.5.1 Funktionsweise eines Gitters

Das allgemein bekannte Phänomen, dass ein Prisma das weiße Licht in seine Spektralfarben aufspaltet, geschieht mit einem Gitter in höherer Präzision. Dies lässt sich mit den Phänomenen beschreiben, die auch zur Erklärung des berühmten Doppelspaltversuchs von Young nötig sind. Dabei geht man vom Wellencharakter des Lichts aus, der Interferenz hinter dem Doppelspalt bedingt. Aus den unterschiedlich langen Wegen von den beiden Spalten zum Beobachtungsschirm resultiert ein Gangunterschied, auf Grund dessen es zu konstruktiver bzw. destruktiver Interferenz kommt, also zu einer Aufspaltung des Lichts in seine Spektralfarben.

2.5.2 Technische Details zu unserem Spektrographen

Unser „Spektrograph“ besteht aus der Montage eines Blaze-Gitters mit 207 Linien/mm (in einer Filterfassung für die Verwendung in Okularen, etc.; Vertrieb Baader-Planetarium), das mit Hilfe eines Verlängerungstubes 20 cm vor der CCD-Ebene der Kamera an das Teleskop durch Klemmung angebracht wurde. Das Gitter ist an den Flanken der Linien so bearbeitet, dass die 1. Ordnung auf einer Seite des Spektrums mehr Photonen erhält, und damit heller (Engl.: blazed) erscheint. Die Gitter-CCD-Distanz ist als Kompromiss erprobt worden, um eine maximale Spreizung der 1. Ordnung zu erreichen, wodurch aufgrund von Lichtabfall/Helligkeit des Spektrums und mechanischer Stabilität der Montage nur Sterne bis zur 3. Größenklasse, möglichst in Zenitnähe, fotografiert werden können. Dies ist bei den beiden Objekten unserer Wahl (im Winterquartal) gegeben.

¹Sowohl die Untersuchungen zur Spektrallinienverbreiterung als auch die Astrometrieuntersuchungen

3 Spektren

3.1 Entstehung von Spektren

Spaltet man das weiße Licht durch ein Prisma oder, wie es in der Astronomie üblich ist, mit einem so genannten Gitter auf, so erhält man ein kontinuierliches Spektrum aller Spektralfarben. Um zu verstehen, was man aus einem Spektrum ableiten kann, so dass es für die Astrophysik überhaupt eine Bedeutung hat, muss man zuerst auf die subatomaren Vorgänge eingehen, die das kontinuierliche Spektrum stören.

Stellt man sich der Einfachheit halber ein Wasserstoffatom vor, so besteht dieses nur aus einem Elektron und einem Proton, wobei letzteres in unseren Überlegungen keine weitere Rolle spielen wird. Das Elektron umkreist bekanntlich das Proton, also den Atomkern, auf verschiedenen Bahnen², die alle einer unterschiedlichen Energie entsprechen. Diese Bahnen wurden mit steigender Energie durchnummeriert und werden üblicherweise mit n bezeichnet. Stellt man sich ein Photon mit einer ganz bestimmten Frequenz vor, das von einer Lichtquelle hinter dem Wasserstoffatom ausgesandt wurde und trifft dieses auf das zuvor genannte Elektron, so wird das Photon entweder vollständig oder gar nicht absorbiert³ und hört damit in letzterem Fall auf zu existieren. Dieses Photon muss eine bestimmte Frequenz haben, denn durch die festgelegten Bahnen auf denen sich das Elektron nur bewegen darf, ist ebenfalls festgelegt, dass nur Photonen mit bestimmter Energie absorbiert werden können, denn das Elektron kann nur genau soviel Energie aufnehmen, wie es für einen Sprung zu einer energetisch höheren Bahn benötigt. Somit nimmt unser Elektron also eine energetisch höhere Bahn ein. Es wird sich allerdings dort nicht lange halten können und wird unter Emission eines oder mehrerer Photonen auf eine energetisch niedrigere Bahn zurückfallen. Bei der Absorption eines Photons wird das kontinuierliche Spektrum unterbrochen, nämlich genau bei der Wellenlänge des absorbierten Photons. Dieses Spektrum nennt man daher Absorptionsspektrum.

Geht man von dem anderen Fall aus, dass ein Wasserstoffatom angeregt wird und es daraufhin wie zuvor beschrieben ein Photon einer bestimmten Frequenz emittiert, so erhält man das so genannte Emissionsspektrum, welches nur aus einzelnen Linien besteht.

Auf Grund der Tatsache, dass verschiedene Atome verschiedene Spektrallinien⁴ erzeugen, lässt sich anhand der Spektroskopie von Sternen unter anderem feststellen aus welchen Materialien diese zusammengesetzt sind. Um Sterne besser klassifizieren zu können wurden die so genannten Spektralklassen eingeführt, deren Grundlage zuvor erwähnte Spektrallinien sind. So lässt sich zum Beispiel sagen, dass Sterne des Spektraltyps A ganz deutliche Wasserstofflinien haben.

²Seit der Formulierung der Quantenphysik weiß man das dies nicht der Fall ist, aber der besseren Vorstellbarkeit halber sprechen wir im weiteren Verlauf von Bahnen und nicht von Quantenzuständen.

³Die Frequenz sei so gewählt, dass das Elektron das Photon absorbieren kann.

⁴Spektrallinien sind die Störungen im Absorptionsspektrum.

3.2 Aufnahmetechnik

Der Belichtungsvorgang zur Herstellung des Spektrums geschieht in folgenden Schritten:

1. Ausrichtung des Teleskops mit Spektrograph-Montage auf den Stern und visuelle Fokussierung der 0. Ordnung auf der Mattscheibe im Kamerasucher.
2. Einstellung/Verdrehung des Gitters und der Kamera, so dass die 1. Blaze-Ordnung senkrecht zur Zeitachse des Teleskops und zur Längsseite des Bildfeldes verläuft.
3. Optimale Platzierung des Spektrums in der Mitte des Bildfeldes, zugleich optische Achse (zwecks Vermeidung eventueller Unschärfe durch Verkanntung der Apparatur) mittels der motorischen Teleskopsteuerung.
4. Einstellung der ISO-Empfindlichkeit des Sensors entsprechend der Helligkeit des Sterns.
5. Ca. 15 Sekunden Belichtung bei Abschaltung des Teleskopantriebs, bzw. einer Veränderung der Nachführgeschwindigkeit, je nach Helligkeit des Sterns.

3.3 Beschreibung des Effekts

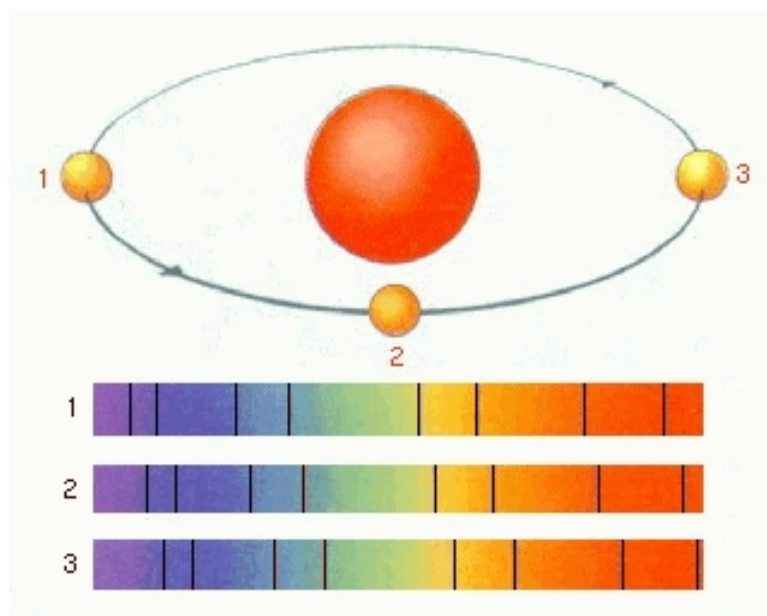


Abbildung 2: Veranschaulichung der Spektrallinienverbreiterung

Spektroskopische Doppelsterne lassen sich nicht mit Teleskopen optisch voneinander trennen. Die einzige Möglichkeit, sie als Doppelsterne zu entlarven ist es, ihr Spektrum zu beobachten:

Spektroskopische Doppelsterne rotieren in einem relativ kurzen Zeitintervall umeinander. Wenn man von der Seite auf das System blickt gibt es einen Zustand, wo sich beide Sterne seitlich zum Beobachter bewegen und einen, wo ein Stern auf den Beobachter zukommt und der andere sich entfernt.

In diesem Augenblick tritt der optische Dopplereffekt auf: Weil sich ein Stern entfernt und der andere nähert, wird das Licht (relativ zur Radialgeschwindigkeit) blau- bzw. rot verschoben. Dieser Effekt ist klein, aber er führt dazu, dass entweder die Spektrallinien sich etwas verbreitern oder sogar aufsplitten.

Dieser Effekt ist in etwa in Abbildung 2 dargestellt⁵.

3.4 Auswahl der Beobachtungsobjekte

Wir haben im Rahmen der Forschungsarbeit folgende Objekte ausgewählt:

- Capella (Alpha Aurigae)
- Beta Aurigae
- Atair
- Wega
- Granatstern

Dabei ist Capella das eigentliche Objekt, an dem wir versuchten, eine Spektrallinienverbreiterung nachzuweisen, Atair und der Grantstern wurden als Vergleichssterne der anderen Spektralklasse herangezogen.

Für Capella als Objekt sprachen eine ganze Reihe von Eigenschaften:

Capella gehört zu den 10 hellsten Sternen von der Erde aus beobachtet, gleichzeitig ist er auch der Nördlichste. Daher ist Capella aus Mitteleuropa das ganze Jahr über beobachtbar, besonders günstig dabei in den Wintermonaten. Capella erscheint daher als günstiger Kandidat für die Untersuchung: ein heller, über einen längeren Zeitraum beobachtbarer spektroskopischer Doppelstern.

Allerdings tauchen auch bei der Untersuchung von Capella mittels eines Schulteleskop einige Schwierigkeiten auf: Einerseits verlangt die Umlaufzeit von 104 Tagen eine etwas längerfristige Beobachtung (und natürlich auch günstiges Wetter), andererseits ist eine Beobachtung der Spektrallinienverschiebung aufgrund der Inklination von ca. 45° zusätzlich erschwert.

Erst spät haben wir die Alternative Beta Aurigae entdeckt, der zwar deutlich lichtschwächer als Alpha Aurigae (Capella) ist, aber nicht die oben genannten Nachteile aufweist: Die Umlaufzeit beträgt hier nur knapp 4 Tage (exakt: 3 Tage, 23 Stunden und 19 Minuten). Außerdem beträgt die Inklination fast 90°. Bisher ist jedoch wetterbedingt erst eine Aufnahme gelungen, so dass bei Ausfertigung der schriftlichen Arbeit noch keine endgültigen Ergebnisse vorliegen, allerdings ist es gut möglich, dass bis zur Präsentation weitere Aufnahmen und eventuell positive Ergebnisse gelingen.

⁵Wobei in der Abbildung ein Stern um einen anderen kreist, in Wirklichkeit kreisen die beiden Sterne aber meist gegenseitig umeinander.

3.6 Mathematische Überlegungen

Die Spektrallinienverbreiterung bei einem rotierenden Doppelstern hängt wesentlich von zwei Komponenten ab: Der Geschwindigkeit mit der die Sterne kreisen und die Inklination, in der ein Beobachter auf das System blickt.

3.6.1 Vorüberlegungen

Die folgende Rechnung soll darlegen, wie sich die Kreisbewegung des Doppelsterns sich auf die Spektrallinien ungefähr auswirkt.

Auswirkung der Inklination Wie oben gezeigt, hat die Inklination eines Doppelsternsystems eine entscheidende Bedeutung für die beobachtbare Spektrallinienverschiebung. Die eigentliche Geschwindigkeitskomponente, die in Richtung Beobachter, also Richtung Erde gerichtet ist und die somit die Spektrallinienverschiebung auslöst, kann wesentlich kleiner sein als die eigentliche Geschwindigkeit, die die Doppelsterne auf ihren Bahnen ausüben. Es gilt hierbei:

$$v_s = \sin(i) \cdot v$$

Dabei ist i der Inklinationswinkel und v_s die senkrechte Geschwindigkeitskomponente.

Anmerkungen zu den Eingesetzten Werten In der folgenden Rechnung geht es mehr um eine allgemeine Abschätzung als um eine präzise Berechnung.

- λ' : Die Wellenlänge die sich durch die Verschiebung ergibt
- λ : Beispielwellenlänge, hier $600nm$
- v : die Geschwindigkeit, mit der sich der Sterne umeinander bewegen.
- c : Lichtgeschwindigkeit, eingesetzt $300000 \frac{km}{s}$

Die Inklination wurde, weil es bei Beta Aurigae fast der Fall ist, als 90° angesehen.

3.6.2 Beispielrechnung

$$\begin{aligned}
 f' &= f \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}} \\
 \text{da } f &= \frac{c}{\lambda} \\
 \Rightarrow \lambda' &= \frac{\lambda}{\sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}}} \\
 \text{Werte eingesetzt: } \lambda' &= \frac{600nm}{\sqrt{\frac{1 + \frac{40000km/s}{300000km/s}}{1 - \frac{30km/s}{300000km/s}}} \\
 \Rightarrow \lambda' &= 900,1nm \\
 \Delta\lambda &= \lambda' - \lambda \\
 \Delta\lambda &= 0,1nm
 \end{aligned}$$

Effektiv ist die Spektrallinienverschiebung oder vielmehr -verbreiterung aber doppelt so groß, da sich der eine Stern des Doppelsternsystems auf den Beobachter auf der Erde zubewegt, der andere von ihm weg. Dadurch verbreitert sich die Spektrallinie in beide Richtungen.

Dennoch ist klar, dass bei einer solch geringen Abweichung der Nachweis im digitalen Bild äußerst schwierig ist und im Anbetracht der zur Verfügung stehenden Möglichkeiten stark an der Grenze des Machbaren gearbeitet wird.

3.7 Auswertung

Die Ergebnisse unserer Arbeit bei der Spektralanalyse sind auf den ersten Blick im Bezug auf Capella noch nicht überzeugend. Eine deutliche Verbreiterung der Spektrallinien oder gar eine Aufspaltung lässt sich im Gegensatz zu diversen Simulationen auf den ersten Blick nicht feststellen.

Bei genauerer Betrachtung der vier vorliegenden Bilder vom 7.12, 8.12, 18.12 und 5.1 kann jedoch der Ansatz einer Linienverbreiterung beobachtet werden. Am 8.12, dem Tag der maximalen Radialgeschwindigkeitsdifferenz, erscheint die $H\gamma$ -Linie leicht verbreitert.

Im Gegensatz dazu erscheint die $H\gamma$ -Line im Spektrum vom 5.1, (kurz nach dem Minimum) etwas schmaler.

Die geringer als erwartete Verbreiterung der $h\gamma$ -Linie erklären wir durch folgende Überlegungen:

- Die relativ lange Umlaufdauer des Cappellsystems von 104 Tagen führt zu einer relativ geringen Bahngeschwindigkeit.
- Die Inklination von $137,5^\circ$ führt dazu, dass nur ein bestimmter vektorieller Anteil der eigentlichen Bahngeschwindigkeit zum Dopplereffekt beiträgt.

- Daraus folgt, wie in der Berechnung gezeigt, dass sich nur eine minimale Veränderung der Frequenz bzw. der Wellenlänge ergibt.
- Zudem erfolgt aus einer Verfeinerung des Gitters eine Verbesserung der Auflösung. Unser Gitter mit 207 Linien/ mm kann somit noch zu grob für eine Verdeutlichung dieser feinen Verbreiterung der $H\gamma$ -Linie sein.

Dennoch besteht noch die Möglichkeit, dass auch mit unseren technischen Mitteln eine Spektrallinienverbreiterung vielleicht nicht deutlich, aber doch sicher, nachgewiesen werden kann, wenn es gelingt, mindestens ein weiteres Spektrum von Beta Aurigae zu erstellen, wo, wie oben dargelegt, die Rahmenbedingung um einiges besser sind.

4 Eigenbewegung von Sternen

4.1 Allgemeine Erläuterungen

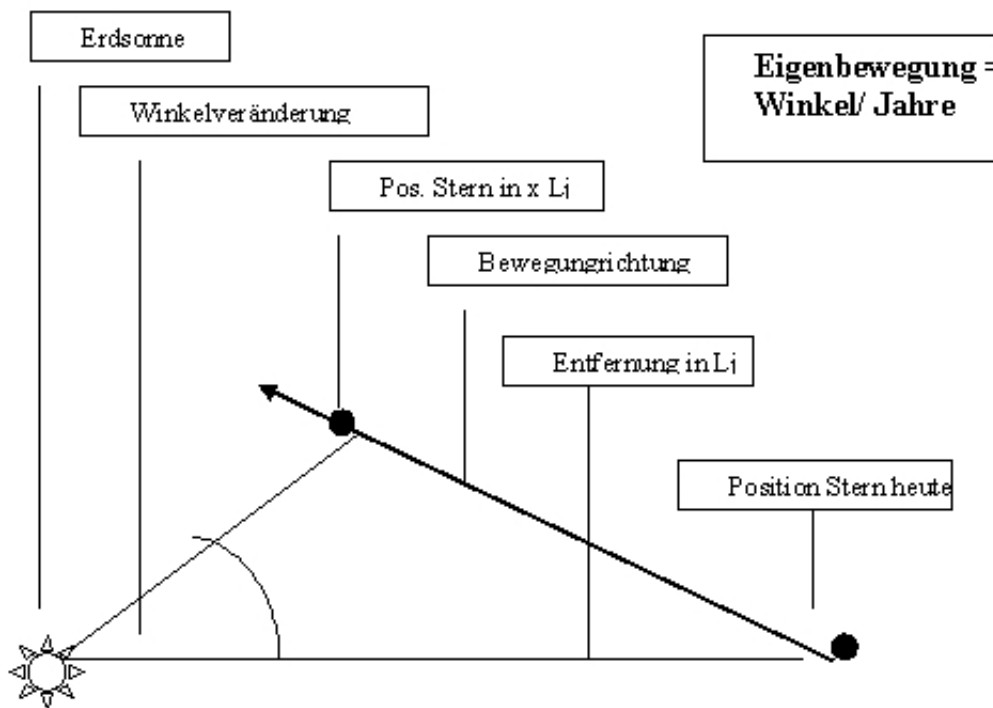


Abbildung 4: Eigenbewegung

Es ist allgemein auffällig, dass Sternbilder im Laufe eines Jahres ihre Position auf der Himmelskugel verändern oder ganz unter dem Horizont verschwinden. Dennoch meint man, den einzelnen Stern nach einem Sonnenumlauf der Erde bei den identischen Koordinaten zu finden wie 365,25 d zuvor, da die Erde wieder die selbe Position auf ihrem Orbit um die Sonne eingenommen hat.

Aufgrund von Gravitation, welcher der beobachtete Stern wie alle Massen in der Galaxie ausgesetzt ist, kommt es jedoch zu einer räumlichen Bewegung des Objekts

relativ zur Erdsonne, der Eigenbewegung. Daher verändern sich Deklination und Rektaszension eines Sterns im Laufe der Jahre. Ein Stern, der z. B. an einem 1. Januar bei Position x betrachtet wurde, wird sich im Verlauf von Jahrtausenden von den damaligen Koordinaten für diesen Tag entfernt haben.

Mit bloßem Auge ist die Eigenbewegung nicht zu erkennen, da die räumliche Bewegung des Sterns und natürlich auch jene unseres Sternensystems zu gering in Bezug auf die Entfernung des Sterns zu uns ist. Dies bedeutet, dass die Eigenbewegung bei sonnennahen Sternen stärker ist als bei fernen Objekten.

Dabei kann man die Bewegung des Sterns vektoriell in eine tangential (quer zur Sichtlinie des Astronomen) und eine radial (auf dessen Sichtlinie) zur Sonne laufende Bewegung aufspalten. Diese haben jeweilige Geschwindigkeiten. Die tangentielle Bewegung äußert sich durch einen veränderten Projektionspunkt des Sterns am Nachthimmel, wodurch ein Winkel beschrieben wird. In einem Jahr ist die Verschiebung dieses Winkels je nach Stern nur wenige Bogensekunden groß und somit wird die Eigenbewegung in Bogensekunden pro Jahr ($''/a$) gemessen. Der Stern mit der größten Eigenbewegung, Barnards Pfeilstern, hat eine Eigenbewegung von $10,4''/a$.

Man kann über die Dopplerverschiebung des Farbspektrums des Sterns auf seine Radialgeschwindigkeit schließen (siehe SPEKTREN). Ebenso ist es möglich die Tangentialgeschwindigkeit zu errechnen, sofern die Entfernung Sonne-Stern (in $1/\text{parsec}$) bekannt ist. Es gilt: Tangentialgeschwindigkeit = Entfernung Stern \times Eigenbewegung.

Durch den Vergleich der Pixelkoordinaten aus dem Stellarkartografieprogramm ALADIN (dessen Daten aus schon älteren Bildern stammen) mit jenen aus unseren eigenen, neuen Aufnahmen können wir über die Winkelverschiebung zwischen den Koordinaten bestimmen. Diese geteilt durch die Zeit, die zwischen den Aufnahmen liegt (in a), entspricht der Eigenbewegung des Sterns. Zu diesem Zweck bieten sich TYCHO-Sterne an, die aufgrund ihrer Leuchtschwäche noch nicht in Hinblick auf Eigenbewegung, Radialgeschwindigkeit und Spektraltyp vom HIPPARCHOS-Teleskop untersucht wurden – also Sterne über 8 mag .

Sollte tatsächlich eine ausreichend große Eigenbewegung des Sternes ermittelt werden, so kann dies nur bedeuten, dass wir einen weiteren sehr sonnennahen Zwergstern entdeckt haben.

4.2 Objektauswahl

Wie bereits erwähnt wurde nimmt die Eigenbewegung eines Sterns bei Verringerung des Abstands des Sterns zur Erdsonne zu. Infolgedessen kommt es zu einer größeren Veränderung der Pixelkoordinaten des Sterns auf Digitalbildern unterschiedlicher Epochen. Je deutlicher die Veränderung der Pixelkoordinaten des Sterns auf den unterschiedlichen Bildern ist, umso aussagekräftiger ist unsere Untersuchung. Lalande 21185 ist mit $8,5$ Lichtjahren Entfernung zu uns nach den Centauri Sternen und Barnards Pfeilstern der fünftnächste Stern. Der Rote Zwerg (M2) ist mit einer visuellen Helligkeit von $7,49 \text{ mag}$ bereits vom HIPPARCOS Satellit auf Eigenbewegung untersucht worden. Seine Eigenbewegung beträgt $4,8''/a$. Insofern eignet er sich Ideal zum Nachweis von Eigenbewegung über den Vergleich von Digitalbildern, da ein Kontrollwert vorliegt.

Zudem befindet sich Lalande in der Hintertatze des Großen Bären (Ursa maior) in Zenitnähe und ist somit die ganze Nacht über mit geringer Refraktion bei gutem Wetter fotografierbar.

Zusätzlich fielen uns im Astrokartografieprogramm *Redshift* 4.0 Tychosterne auf, die in einer Zeitraffersimulation sich wesentlich schneller bewegten als umliegende Sterne. Daraus vermuteten wir, dass es sich um von HIPPARCOS übersehene sehr sonnennahe Zwergsterne mit hoher Eigenbewegung handeln könnte.

4.3 Durchführung der Nachweisuntersuchung

Wir versuchten Bilder eines unserer „springenden“ Tychosterne im Internet-Stellarfotografieprogramm ALADIN ausfindig zu machen. Durch Abgleich der so gefundenen Aufnahmen mit den entsprechenden *Redshift* Vorschlägen für den Standort unseres Tychosterns für dieses Datum stellten wir fest, dass das ursprüngliche „Springen“ zwischen unseren Bildern und der *Redshift*-Simulation lediglich darauf zurückzuführen ist, dass die *Redshift* Daten der Tychosterne aus dem Jahre 1999 stammen. Die Position der nicht vermessenen Sterne wird in der Simulation des Sternenhimmels von 2003AD im Gegensatz zur Position der vermessenen Sterne konstant gelassen, d.h. dass *Redshift* für unvermessene Sterne auch keine Bewegung simuliert, die Positionen der unvermessenen Sterne also aus dem Jahre 1999 stammt.

Die Sterne sind also nicht, wie vermutet, nahe Zwergsterne, sondern höchstwahrscheinlich weit entfernt.

4.3.1 Untersuchung an Lalande 21185

Zur Untersuchung der Eigenbewegung von Lalande wählten wir das neueste digitalisierte Bild des Sterns und seiner Nachbarn aus *Aladin* aus. Anschließend verglichen wir dieses mit einem unserer eigenen aktuellen Digitalbilder.

Dabei kamen wir zu dem Schluss, dass sich die Nachbarsterne Lalandes binnen 13 Jahren nicht sichtbar bewegt haben, daher können sie als Referenzsterne herangezogen werden. Bei Lalande war jedoch eine deutliche Änderung der Pixelkoordinaten festzustellen.

4.3.2 Berechnung der Eigenbewegung

Die Pixelkoordinaten von Vergleichssterne B und C in Aladin 1990 sind: 355x459 Pixel für B; 481x233 Pixel für C sowie 376x429 Pixel für Lalande.

in unserer Aufnahme sind es für C 592x463 Pixel, für B 507x334 Pixel, für Lalande 529x390 Pixel.

Allerdings sind die Abmessungen der Bilder natürlich unterschiedlich, daher muss ein Umrechnungsfaktor für die Dimensionen bestimmt werden.⁶

⁶ k ist der Faktor, R steht für Rektaszensionspixel, die Indices B und C stehen jeweils für die beiden Sterne (siehe Abbildung auf der CD) die Indices Al und u für die Quelle Aladin oder unsere Aufnahme.

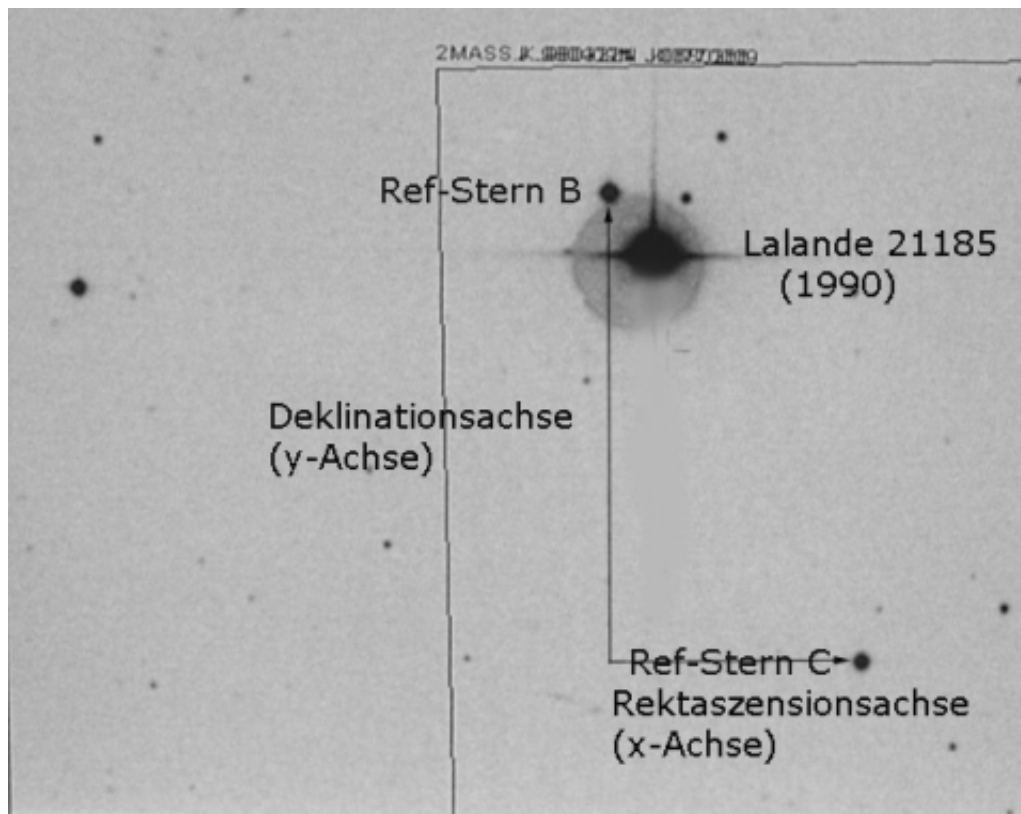


Abbildung 5: Kennzeichnung der Sterne

$$k = \frac{R_{C,Al} - R_{B,Al}}{R_{C,u} - R_{B,u}}$$

$$k = \frac{130}{80}$$

$$k = 1,6$$

Der gleiche Wert ergibt sich, wenn man den Deklinationsdifferenzquotienten bildet.⁷

Anschließend muss noch berücksichtigt werden, dass die beiden Bilder nicht deckungsgleich sind, also der vorhandene Rand ebenfalls beachtet werden muss.

$$Rand_{links} = \frac{R_{C,u} \cdot 1,6 - R_{C,Al} + R_{B,u} \cdot 1,6 - R_{B,Al}}{2}$$

$$Rand_{links} = 460$$

Ebenso Rechnet man mit dem unteren Rand.

$$Rand_{unten} = \frac{D_{C,u} \cdot 1,6 - D_{C,Al} + D_{B,u} \cdot 1,6 - D_{B,Al}}{2}$$

$$Rand_{unten} = 260$$

⁷Unsere manuellen Abmessungen im Photoshop ergaben zwar leicht abweichende Werte, diese wurden jedoch gemittelt. Abweichung: ca. 5 Pixel

Mit diesen Daten können die Pixelwerte unserer Aufnahme einfach in die Maße der Aladin Aufnahme umgerechnet werden. Dort gilt: 1 Pixel $\hat{=}$ 1“

Die Werte von unserer Lalandeaufnahme werden umgerechnet:

$$\begin{aligned}
 529 \cdot 1,6 - 460 &= 386 \\
 (768 - 390) \cdot 1,6 - 260 &= 344 \\
 \Rightarrow \Delta\text{Rektaszension} &= 386 - 376 = 10 \\
 \Delta\text{Deklination} &= 429 - 344 = 85 \\
 \Delta\text{Bewegung} &= \sqrt{85^2 + 10^2} \\
 \Delta\text{Bewegung} &= 85,6
 \end{aligned}$$

Dieser Wert unterscheidet sich zwar etwas von dem Literaturwert von $14a \cdot 4,8''/a = 67''$, jedoch lässt sich dieser Fehler durch die Schwierigkeiten und die daraus resultierenden Ungenauigkeiten bei der Bestimmung der Pixelkoordinaten in den beiden Aufnahmen erklären. In beiden Fällen wurde manuell im Grafikprogramm versucht, möglichst genau den Mittelpunkt der Sterne herauszufinden.

5 Fazit

Mit dieser Jugend Forscht Arbeit wollten wir die Grenzen unserer technischen Möglichkeiten ausreizen. Wie weit kommt man wirklich mit den Methoden und der Technik der Schulastronomie?

Die Vermessung digitaler Astrofotos mittels eines weit verbreiteten Bildbearbeitungsprogramms hinsichtlich der Eigenbewegung von Fixsternen, ebenso wie die Analyse von Spektren besonderer Sterne empfanden wir als bereicherndes Lernen im Gebiet der Astrophysik und der Dynamik des Himmelsgeschehens. Verglichen mit den Ergebnissen der Astro-Wissenschaften versetzt uns unsere bescheidene, aber gute Ausstattung in die Lage, wesentliche Erkenntnisse experimentell nachvollziehbar zu machen. Sind die konkreten Ergebnisse unserer bisherigen Untersuchungen auch an der Grenze der Nachweisbarkeit (besonders bei Radialgeschwindigkeiten mit einem „Low-resolution“-Gitter), bleibt dennoch die Spannung, unter günstigen Wetterbedingungen, den Effekt der Spektrallinienverbreiterung/-trennung am Stern Beta Aurigae dank unserer gewonnenen Erfahrung nachweisen zu können. Die Suche nach einem (neuen) Nachbarstern unserer Sonne übergeben wir jüngeren Mitschülern unserer Astro-AG, mit dem Hinweis der Fachwelt, dass schätzungsweise erst 30% dieser Sterne bekannt sind.

Für die Unterstützung seitens unseres Betreuungslehrers danken wir herzlich, ebenso wie den Niedersächsischen Förderfonds (Hr. Haase, Hildesheim) für die Bereitstellung von hochwertigem astronomischen Zubehör, das uns die Arbeit am Teleskop wesentlich erleichterte.

Literatur

- [UK] Sagan, Carl: Unser Kosmos. 1991
- [SuS] Kaler, James B.: Sterne und ihre Spektren. 1994
- [ES] Kaler, James B.: Extreme Stars. April 2001
- [U] Freedman, R. und Kaufmann, L.J.: Universe. New York, 2002.
- [web1] <http://leo.astronomy.cz/capella>
- [web2] <http://aladon.u-strasbg.fr>
- [web3] <http://astro.uni-jena.de> Artikel zur Eigenbewegung von Sternen