LICHT HINTER GITTER

SPEKTREN IM VERGLEICH - RÜCKSCHLÜSSE AUF DIE STERNATMOSPHÄRE

VON MATTHIAS FRITZSCHE, MARTIN KONRAD UND STEFANIE SAMMET

Kurzfassung:

Fast das gesamte Wissen über die Sterne basiert auf Spektrographie und Spektrometrie. Daher war es für uns interessant, uns mit diesem Thema zu beschäftigen und zu versuchen, sowohl historische Versuche als auch aktuellere Praxis (Aufnahme von Sternspektren) mit den der Schule zur Verfügung stehenden Mitteln nachzuvollziehen. Unser Ziel war es, mit Hilfe eines Vier-Zoll-Refraktors und eines Blaze-Gitters möglichst gut auswertbare Sternspektrographien im Kleinbildformat zu erhalten.

Dazu photographierten wir Spektren von Sternen verschiedener Spektralklassen sowohl mit Schwarz-Weiß- als auch mit Farb-Negativ-Filmen und verschiedenen Belichtungstechniken.
Ein Teil vor allem der Schwarz-Weiß-Aufnahmen ist gut verwendbar:
Es zeigten sich erstaunlich gute Absorptionslinien.

Bei den besten Negativen benutzten wir den Computer, um den Kontrast zu steigern.

Um die so bearbeiteten Negative auch spektrometrisch auswerten zu können, nahmen wir Emissionsspektren von Gasentladungslampen (Quecksilberdampf- und Wasserstofflampe, sog. Balmerlampe) mit den selben Instrumenten auf. Durch Vergleichen der Sternspektren mit den Laborspektren konnten wir vor allem Wasserstoff in Sternatmosphären nachweisen.

Allerdings mußten wir bei der Auswertung einiger Negative Belichtungsfehler feststellen, die manche an sich klare Linie zu weit auffächerten.

Einige Ideen zur Verbesserung der Aufnahmetechnik konnten wir noch nicht realisieren, da das Wetter astronomisch gesehen zwei Monate lang fast durchgängig schlecht war.

Gliederung

1. Einleitung

Uns interessierte, was *wir* durch Spektrographie über die Sterne herausfinden können.

2. Hauptteil

2.1. Theoretische Hintergründe zur Spektralanalyse

2.1.1 Funktionsweise des Gitterspektrographen

2.1.2 Absorptionsspektralanalyse

2.2. Aufnahme von Stern- und Laborspektren

2.2.1 Örtliche Bedingungen

2.2.2 Instrumentarium und Filmmaterial

2.2.3 Belichtungstechnik

2.2.4 „Phototermine“

2.2.5 Bildverarbeitung

2.2.6 Ergebnisse und Beurteilung der Sternspektren

2.2.7 Aufnahme von Vergleichsspektren

2.2.8 Spektrometrische Auswertung

3. Schluß

Die noch nicht zufriedenstellenden Ergebnisse veranlassen uns, die Arbeit kritisch zu reflektieren und über Verbesserungsmöglichkeiten bei Aufnahmetechnik und Auswertung nachzudenken.

4. Literaturverzeichnis

1. Was leuchtet eigentlich bei den Sternen?

Mit dieser Frage hatten wir uns seit 1996 im Rahmen der Astronomie-AG am Franziskaner-Gymnasium Kreuzburg in Großkrotzenburg beschäftigt. Wir erarbeiteten die Theorie der Spektrographie und vollzogen diese teilweise in Form von Experimenten nach.

Wir nahmen uns nun vor, auch in der Praxis auszuprobieren, was wir mit unseren Mitteln über das Licht der Sterne herausfinden können.
Dazu wollten wir selbst Photos von Sternspektren machen, und zwar mit Hilfe der schuleigenen Instrumente, nämlich eines Vier-Zoll-Refraktors und eines Blaze-Gitters.
Um eine spektrometrische Auswertung vornehmen zu können, beabsichtigen wir, unsere Sternspektren mit Laborspektrographien von Gasentladungslampen zu vergleichen.

Als wir von „Jugend forscht“ hörten, kamen wir auf die Idee, aus unseren Ergebnissen eine Projektarbeit unter dem Titel „Licht hinter Gitter“ zu machen.

2.1. Theoretische Hintergründe zur Spektralanalyse

2.1.1. Funktionsweise des Gitterspektrographen

Um das Spektrum eines Sternes zu erhalten, muß man sein Licht in seine Anteile verschiedener Wellenlängen zerlegen.

Dabei kann man zwischen zwei völlig unterschiedlichen Dispersionsmitteln wählen.
Recht einfach und preiswert lassen sich Spektren mit Hilfe eines Prismas herstellen, wobei man die Lichtbrechung beim Übergang des Lichtes in ein anderes Medium benutzt. Es macht sich jedoch nachteilig bemerkbar, daß die Dispersion von der Wellenlänge abhängig ist. Dies erschwert die Auswertung und Vermessung der Spektren sehr, da das Ausgleichen dieses Fehlers recht aufwendig ist.

Wesentlich einfacher in der Auswertung sind daher Gitterspektren, deren Dispersion nahezu konstant ist. Im Gegensatz zur Wirkungsweise eines Prismenspektrographen macht man bei einem Gitterspektrographen Gebrauch von der Lichtbeugung an einem Gitter, wobei langwelliges Licht stärker abgelenkt wird als kurzwelliges.

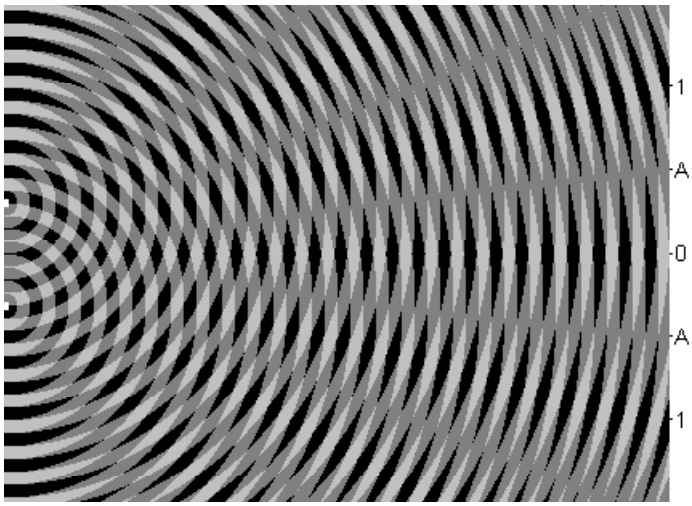


Abb. 1:
Durch monochromatisches Licht, das von links auf zwei Spalte fällt, wird eine Interferenzfigur hervorgerufen.

dunkelgrau = Wellenberg
schwarz = Wellental
hellgrau = konstruktiv interferierende Wellen

Fällt monochromatisches Licht auf zwei Spalte, so entsteht durch Interferenz ein Muster von sog. Interferenzstreifen (s. Abb. 1). An Punkt 0 sind die Wellen phasengleich, sie interferieren konstruktiv. Punkt A ist von einem Spalt eine halbe Wellenlänge weiter entfernt als vom anderen, die Wellen interferieren destruktiv. Es entsteht ein dunkler Fleck (obwohl A vom Licht beider Spalte erreicht wird). An Punkt 1 beträgt die Entfernungsdifferenz der Spalte genau eine Wellenlänge, so daß dort wieder konstruktive Interferenz eintritt (heller Fleck). Bei zwei oder mehr Wellenlängen Unterschied entstehen ebenfalls helle Interferenzstreifen. Diese entsprechen der zweiten und höheren Ordnungen.

Läßt man nun weißes Licht auf die Spalte fallen, entstehen an Stelle der hellen Flecken farbige Interferenzstreifen (Spektren). Das langwellige Ende des Spektrums liegt dabei weiter vom Punkt 0 entfernt. Hier muß der Entfernungsunterschied der Spalte größer sein als bei kurzwelligem Licht, damit konstruktive Interferenz eintritt.

Verwendet man mehr als zwei Spalte, werden die Spektren schärfer. Die Entfernungsunterschiede zu allen Spalten müssen daher ein Vielfaches der Wellenlänge betragen, damit konstruktive Interferenz eintritt. Das Auflösungsvermögen des Spektrums wird bestimmt durch die sog. Gitterkonstante (Abstand zweier Striche). Ein Gitter sollte aus diesen Gründen aus möglichst vielen Strichen bestehen, die zudem möglichst dicht beieinander liegen sollten.

Kernstück unseres Gitterspektrographen ist ein Transmissionsgitter, also ein Glasplättchen, in das extrem viele parallele Striche geritzt sind. Diese wirken wie viele kleine Spalte, an denen das Licht gebeugt wird. (Daten: d = 207 Linien/mm, Breite = 26 mm, also etwa 5400 Furchen)

Ein großer Nachteil von Gitterspektrographen ist, daß sie aus dem schwachen Sternenlicht viele Spektren erzeugen. Um dieser Lichtverschwendung entgegenzuwirken, wurde das von uns verwendete Blaze-Gitter auf das Spektrum erster Ordnung geblazed, d. h. dieses Spektrum tritt aufgrund einer besonderen Form der Rillen besonders lichtstark in Erscheinung.

2.1.2. Absorptionsspektralanalyse

Gustav Robert Kirchhoff (1824-87), ein deutscher Physiker, stellte Regeln zur Berechnung der Strom- und Spannungsverhältnisse im elektrischen Leitersystem (heute Kirchhoff'sche Regeln genannt) auf. Kirchhoff fand eine Erklärung für die Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspektrum und entwickelte eine Theorie der Lichtbeugung. Zusammen mit *Robert Wilhelm Bunsen* (1811-99) entwickelte er die Spektralanalyse.

Ein klassischer Versuch zeigt das Prinzip der Analysemethode:
Eine heiße Lichtquelle sendet ein kontinuierliches Spektrum aus. Mit Hilfe eines (kühleren) Bunsenbrenners wird durch Zersetzen von Kochsalzkristallen Natriumdampf in den Strahlengang gebracht. Im Spektrum ist nun eine schwarze, stofftypische Linie, eine sogenannte Absorptionslinie, zu sehen, deren Entstehung sich so erklärt: Die Lichtquelle sendet Photonen verschiedenster Wellenlänge aus. Diese besitzen somit unterschiedliche Mengen an Energie. Trifft ein Photon mit der passenden Energie auf ein Natriumatom, so wird es absorbiert, indem ein Elektron auf ein bestimmtes höheres Energieniveau gebracht wird. Daher fehlt dem Kontinuum an einer bestimmten Stelle eine Wellenlänge, in diesem Fall im gelben Bereich bei 590 nm.

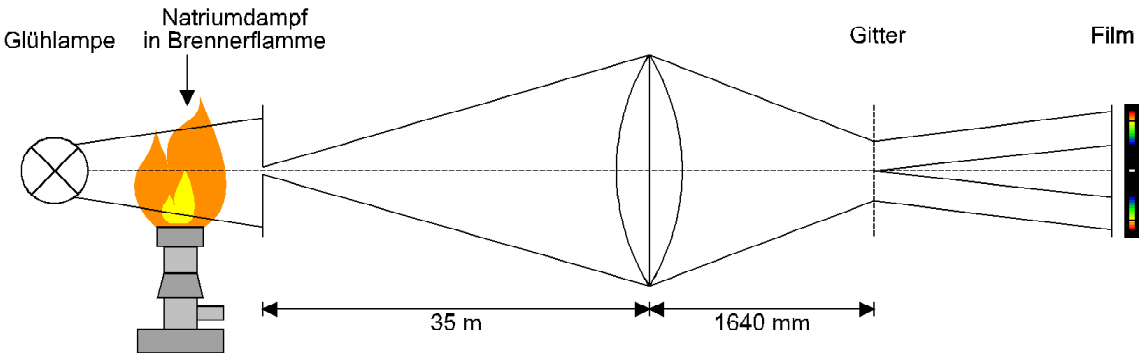


Abb. 2.: Erzeugung eines Spektrums mit Natriumabsorptionslinien. Dargestellt ist der schematische Versuchsaufbau mit den Abbildungsentfernungen unseres Refraktors im Physiksaal.

Bei der Laborlichtquelle wird ein Draht durch elektrische Wärme zum Glühen und damit zur Aussendung von Photonen gebracht. Bei der Sonne und jedem anderen gewöhnlichen Stern kommen die Photonen aus dem Kern. Deren Energie regt die Gase der Sternatmosphäre (meist Wasserstoff und Helium) an. Hier werden die Photonen absorbiert, dadurch entstehen auch bei Sternspektren Absorptionslinien.

2.2. Aufnahme von Stern- und Laborspektren

2.2.1 Örtliche Bedingungen

Großkrotzenburg liegt ca. 10 km östlich von Hanau und somit am Rande des Rhein-Main-Siedlungsgebietes. Dies hat eine erhebliche Lichtverschmutzung des Westhimmels zur Folge. Die Schule befindet sich am Ortsrand und in Waldnähe, was die Beobachtungsbedingungen wiederum verbessert.
In ca. 100 m Entfernung führt jedoch die Bahnlinie Frankfurt-Würzburg vorbei; durchfahrende Güterzüge verursachen nicht selten Erschütterungen unserer Instrumente. Direkt über unsere Schule führt eine Einflugschneise des Frankfurter Flughafens, so daß uns immer wieder Flugzeuge durch ihre Landescheinwerfer stören.
Einige 100 m westlich steht das Kohlekraftwerk „Staudinger“, das uns bei starkem Wind die Kondenswolken der Kühltürme zuschickt.

Aufgrund der genannten Tatsachen wird ersichtlich, daß unsere Beobachtungsarbeit hin und wieder mit Schwierigkeiten verbunden ist.

2.2.2 Instrumentarium, Filmmaterial

Bei unseren Beobachtungen benutzten wir das sogenannte „Merz 1860“. Hinter dieser Bezeichnung verbirgt sich ein Refraktor, dessen Objektiv vor ein paar Jahren der Physiksammlung als Einzelstück zur Verfügung gestellt und wohl im letzten Jahrhundert von der Firma Merz in München hergestellt wurde. Eine Prüfung der Fraunhofer-Optik ergab, daß das „Merz“ in einem sehr guten Zustand erhalten geblieben ist. Allerdings hat es aufgrund des älteren Glasmaterials eine geringe Kontrastwirkung. Seine Öffnung beträgt vier Zoll (108 mm) und seine Brennweite 1640 mm, das ergibt eine Lichtstärke von etwa 1:15. Die Optik ist in ein neues Messingrohr nachträglich eingebaut worden,

da wir leider keinen Original-Tubus aus der damaligen Zeit erhalten konnten. Das Teleskop ist auf einer parallaktischen Montierung befestigt, die von Schrittmotoren angetrieben wird.

Am Refraktor wurde eine Spiegelreflexkamera mit dem Blaze-Gitter montiert. Der schematische Aufbau geht aus Abbildung 2 hervor.

Als Filmmaterialien standen uns ein Kodak Ektacolor ProGold 400 (Farb-Negativ-Film) und ein Kodak Technical Pan 2415 (Schwarzweißfilm) zur Verfügung.

Der ProGold 400 besitzt eine extrem hohe Rotempfindlichkeit (H_α) und gibt alle Farbabstufungen exzellent bei gutem Kontrast wieder. Allerdings bleibt auch bei ihm, wie bei allen Farbfilmen, das Problem der Drei-Schichten-Emulsion mit verschiedenen Empfindlichkeiten bestehen. Dies macht sich in den typischen Farbbalken der Abbildungen bemerkbar.

Durch den KODAK Technical Pan 2415 wird laut Filmdatenblatt eine Kontraststeigerung bei lichtschwachen Objekten ermöglicht. Er erfaßt auch das Licht der H_α-Linie. Dieser Film besitzt eine gut ausgeglichene Empfindlichkeit im sichtbaren Bereich. Durch seine feine Körnung kann eine hohe Auflösung erreicht werden. (ISO 25/15°)

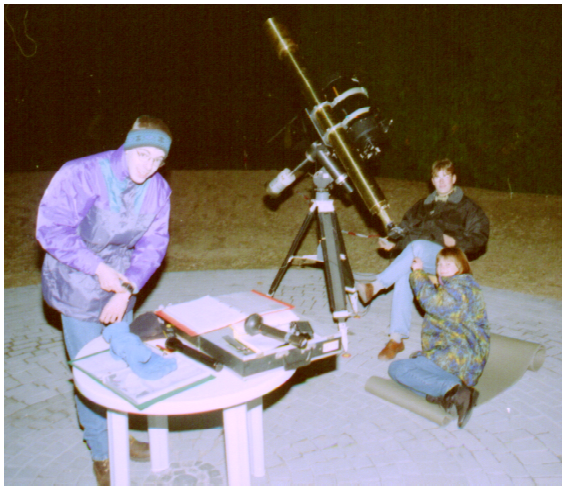
2.2.3 Belichtungstechnik

Wir hatten uns verschiedene Techniken zur Erzeugung von aufgefächerten Spektren-überlegt:

1. Ausschalten der Nachführung: Der Stern wird mit der Geschwindigkeit in eine Strichspur gezogen, mit der er bei feststehender Montierung das Gesichtsfeld durchläuft. Dieses Tempo ist von der Deklination des Sternes abhängig. D.h. je größer die Deklination ist, desto kürzer wird die Strichspur.
2. Mit Hilfe eines Nachführsternes, der in einem parallel montierten Teleskop kontrolliert wird: Dies ist wohl die exakteste Nachführmethode, weil sie sich an einem synchron mit dem Objekt bewegenden Punkt des Himmels orientiert.
3. Verlangsamtes bzw. beschleunigtes, eventuell mehrfach wechselndes Nachführen in Rektaszension: Diese Methode bietet sich an, wenn man auf ein parallel zur Aufnahmeoptik liegendes Teleskop verzichten will. Wir wandten diese Technik an, weil die Überlastung der Montierung durch zwei Teleskope manchmal zum Stottern der Schritt-

motoren führte. Die Scharfstellung erfolgte mit Hilfe des Maximums 0. Ordnung im Sucher der Kamera.

2.2.4 „Phototermine“



Unsere erste Aufnahme machten wir am 17. Oktober 1997 bei gutem Wetter.

α Lyrae (Wega) stand zum Zeitpunkt der Photographie in Zenitnähe. Deshalb mußten wir uns unter den Refraktor legen, um die Abbildung scharf zu stellen. Nach einigen Verrenkungen belichteten wir dann kurz vor 22 Uhr das erste Photo. Es war auch das einzige für diesen Abend.

Gleich am nächsten Tag, dem 18. Oktober, trafen wir uns wieder bei mindestens ebenso gutem Wetter. Nachdem wir β Cassiopeiae (Chaph), α Cassiopeiae (Schedir) und α Aurigae (Capella) nacheinander auf den beiden erwähnten Filmarten spektrographiert hatten, nahmen wir als besonderen Leckerbissen noch ein Spektrum des gerade aufgegangenen Mondes auf. Da sein Bild flächenhaft ist, erübrigte sich das Auffächern. Schon visuell konnten wir gut sehen, wie sich die Spektralfarben des Mondes überlagern: In der Mitte ist nur weißes Licht zu sehen.

Diesmal hatten wir eine größere Ausbeute an Sternspektren (elf anstatt nur einem!) als am Abend zuvor, da wir viele Einstellungen an der Optik übernehmen konnten.

Am 27. Oktober spektrographierten wir β Andromedae (Mirach), α Camelopardalis und α Andromedae (Sirrah). Auch an diesem Abend hatten wir ausgezeichnetes und vor allem sehr trockenes Wetter. Leider war es ziemlich kalt. Spätestens nach zwei Stunden

hatten wir alle kalte Füße und außerdem steife Finger, wodurch mehrere Fehlbelichtungen ausgelöst wurden (wir hatten den Auslöser zu früh losgelassen oder bekamen die Arretierung kaum mehr auf).

2.2.5. Bildverarbeitung

Um unsere Spektren besser auswerten zu können, scannten wir die Negative nach der Standardentwicklung zunächst mit einem Flachbettscanner (Mustek MFS 8.000 SP mit Dia-Durchlichtaufsatz; Auflösung: 300×300 dpi optisch; 1200×1200 dpi mit Interpolation) bzw. einem Videoscanner (Fujifilm FV-10D) ein. Danach versuchten wir, mit Hilfe der Bildbearbeitungssoftware (Micrografx Picture Publisher 6.0) den Kontrast und die Helligkeit so einzustellen, daß möglichst viele Absorptionslinien deutlich sichtbar werden. Dies war besonders bei kontrastarmen Aufnahmen lichtschwacher Objekte erforderlich. Wir erreichten durch die Nachbearbeitung teilweise bedeutende Verbesserungen der Bildqualität.

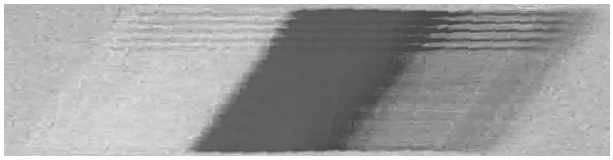
2.2.6. Ergebnisse und Beurteilung der Sternspektren

Die Ergebnisse nach der Bildverarbeitung waren trotz aller Mühen auf den ersten Blick teilweise sehr ernüchternd. Beim genaueren Betrachten und Vergrößern der Spektren stellte sich jedoch heraus, daß diese in der Regel recht deutlich zu erkennen sind und einige Negative andeutungsweise die erwarteten Absorptionslinien zeigen.
Dennoch tritt bei einigen Bildern ein (von uns so bezeichneter) „V“-, „N“- oder „M“-Effekt auf: Die Spur des Maximums 0. Ordnung bildet nicht eine einzige gerade Linie. Je nachdem, wie oft wir den Stern zur Belichtungsverstärkung durch das Bild geführt hatten, war nun eine mehr oder weniger breite „Zick-Zack“-Linie entstanden. Dementsprechend sind bei einigen Negativen die abgebildeten Absorptionslinien im Spektrum leider auch verschmiert.

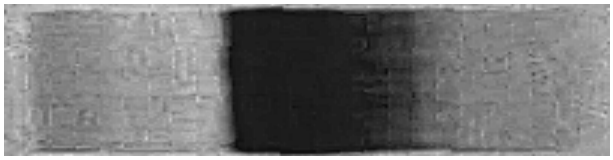
„V“-Effekt: sichtbar an der Spur des Maximums 0. Ordnung (rechts). Im unteren Teil des Spektrums (links) erscheinen die Absorptionslinien deutlich schärfer abgebildet als im oberen.

Unsere besten photographischen Ergebnisse:

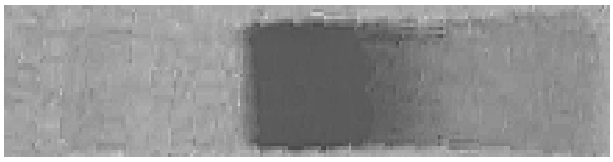
1. auf KODAK Ektacolor ProGold 400



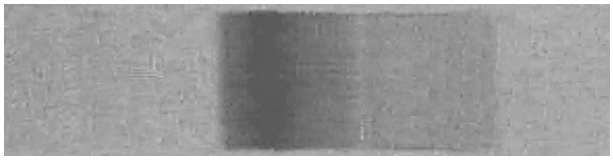
[1] α Lyr (Wega); A0; 17.Okt.97
5×5" mit kurzen Stopps oben; 60" im unteren Bereich - Schräglage des Spektrums durch versehentliche Verdrehung des Gitters



[2] β And (Mirach); M0; 27.Okt.97
2×45" „hin+her“
mit halber Nachführgeschwindigkeit



[3] α Cam; O9; 27.Okt.97
4×45" „hin+her“
mit halber Nachführgeschwindigkeit



[4] α And (Sirrah); B9; 27.Okt.97
45" nur „hin“

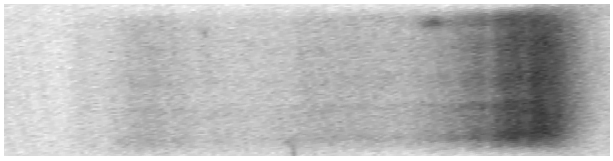
Rot Grün Blau Violett

2. auf KODAK Technical Pan 2415

[5] β And (Mirach); M0; 27.Okt.97
45" nur „hin“
mit halber Nachführgeschwindigkeit

[6] β And (Mirach); M0; 27.Okt.97
3×45" „hin+her“
mit halber Nachführgeschwindigkeit

[7] α And (Sirrah); B9; 27.Okt.97
3×45" „hin+her“
mit halber Nachführgeschwindigkeit



[8] α And (Sirrah), B9; 27.Okt.97
wie bei [7]

Rot Grün Blau Violett

Beurteilung:

Zu den Bildern [1], [4], [7] und [8]: Bei B-Sternen erwartet man die Wasserstoff-Linien der Balmerserie mäßig stark. Der spektrographierte Stern α And (Sirrah) liegt mit seiner weißlich-blauen Farbe in der Spektralklasse B9 allerdings nahe bei A0 und zeigt die Balmer-Linien daher schon in beinahe maximaler Stärke. Dies ist im Spektrum von α Lyr (Wega) schon deutlich zu erkennen.

Zu den Bildern [2], [5] und [6]: M0-Sterne (z.B.: β And) sind durch auffällige rötliche Färbung und charakteristische Banden im Bereich von gelb bis grün eindeutig gekennzeichnet. Dies sieht man bei den Schwarz-Weiß-Bildern besonders deutlich.

Zu Bild [3]: Bei α Cam, der zur Spektralklasse O9 gehört, sind erwartungsgemäß nur schwach ausgeprägte Absorptionslinien zu sehen.

2.2.7. Aufnahme von Vergleichsspektren

Um unsere Spektren auch spektrometrisch auswerten zu können, benötigten wir Aufnahmen eines bekannten Spektrums. Wir nahmen daher die Emissionlinien der Wasserstoff-Lampe und einer Quecksilberdampflampe mit dem selben Instrumentarium wie bei den Sternspektren auf.

Wir bauten unseren Refraktor mitsamt Blaze-Gitter und Kamera in den Physikräumen auf. Unsere Physiksäle sind so hintereinander angeordnet, daß man durch alle Räume hindurch die Türen öffnen kann. Damit erhält man eine über 35 m lange Strecke. Das nutzten wir aus und plazierten am anderen Ende dieses "Ganges" zunächst eine Hg-Lampe. Deren Licht projizierten wir auf eine kleine Metallkugel, um einen künstlichen Stern zu erhalten. Zur Auffächerung des Spektrum lagerten wir den Refraktor auf zwei höhenverstellbaren „Bühnen“.

Später nahmen wir noch das Wasserstoffspektrum mit Hilfe der sog. Balmer-Lampe auf. Wir photographierten die Lampe mit ihrem Lichtfaden direkt, da es uns nicht möglich war, das Licht der Lampe auf die Kugel zu projizieren. Die Belichtungszeiten wählten wir verschieden, um unterschiedliche Intensitäten der Spektren zu erhalten. Die Ergebnisse zeigten zum Teil Überbelichtungen.

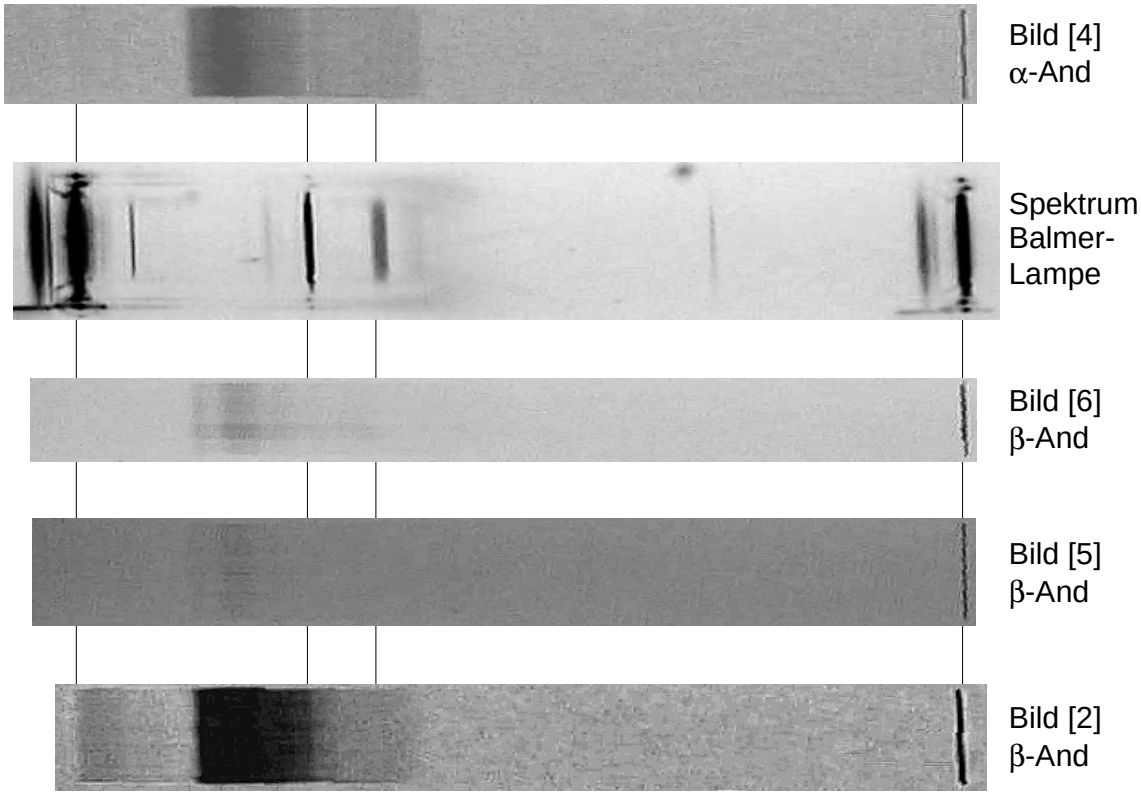
2.2.8. Spektrometrische Auswertung

Beim ersten Gegenüberstellen der Sternspektren mit den Laboraufnahmen stellten wir fest, daß ein unmittelbarer Vergleich der Spektrallinienabstände nicht möglich war. Die Software-Bearbeitung der Negative bot die Möglichkeit einer besseren Vermessung. Wir entschieden uns daher, den Vergleich mit dem Micrografx Designer 4.0a vorzunehmen.

Dazu plazierten wir die Spektren graphisch untereinander und versuchten, die sichtbaren Emissions- und Absorptionslinien in Übereinstimmung zu bringen. Dies gelang uns aber nicht auf Anhieb, da die Bildgröße aufgrund unterschiedlicher Gegenstandsweiten (35 m im Labor und ∞ bei den Sternspektren) wechselte. Möglicherweise hatten wir auch versehentlich den Abstand Gitter – Filmebene geändert.

Um diese Abbildungsfehler auszumerzen, verbreiterten wir die Laboraufnahmen solange, bis wir eine Übereinstimmung mit den Sternspektren feststellen konnten. Um das deutlicher sichtbar zu machen, haben wir einige Hilfslinien eingefügt.

Hier das Ergebnis (im Ausdruck fehlen leider einige Details):



Es sind klar die übereinstimmenden Abstandsverhältnisse der Balmer-Emissionslinien und der Absorptionslinien bei α And zu erkennen. Damit ist bei α And Wasserstoff in der Sternatmosphäre nachgewiesen.

3. Kritische Reflexion und Aussichten

Da die ersten Ergebnisse teilweise sehr ernüchternd waren, glaubten wir zunächst nicht daran, unser Ziel noch erreichen zu können. Dazu kam, daß wir erst mit Abgabe unserer Anmeldung begannen, zielstrebig auf unser Ziel hinzuarbeiten, unsere Aufnahmeprotokolle systematisch zu bearbeiten und unsere Ideen dazu aufzuschreiben. Die Mühe um die Erstellung von Spektrographien war für uns doch recht schwierig einzuschätzen.

Durch die miserablen Wetterverhältnisse hatten wir zudem keine Gelegenheit, eine immer bessere Methode zur Belichtung der Spektren zu entwickeln und auszuprobieren.
Erst beim Vergleichen der Spektren stellte sich schließlich heraus, daß die - wenn auch oft schwachen - Linien doch erstaunlich gut übereinstimmen. Somit erhielten wir doch noch ein positives Ergebnis.

Etwas Zweifel bleiben noch bei der Bewertung der Laborspektren, da wir die Emissionslinien der Lichtquelle zum Teil nicht eindeutig von Reflexionen, z.B. an Stativstangen des Aufbaus, unterscheiden können. Bei zukünftigen Aufnahmen müßten solche Fehlerquellen ausgeschloßen werden.

Eine Vermessung der Wellenlänge der Absorptionslinien ist zwar im Prinzip noch denkbar, der Aufwand erscheint uns aber nicht lohnenswert. Die Breite der zu vermessenden Linien würde einen recht hohen Fehler in die Eichdaten bringen.

Wir erwägen, für weitere Aufnahmen ein Auffächern des Spektrums mit variablen Geschwindigkeiten durch Bewegung in Deklination statt in Rektaszension zu untersuchen. An der Teleskopsteuerung lassen sich um diese Achse eventuell diskretere Ganggeschwindigkeiten einstellen. Durch nur einmaliges, langsames Durchfahren des Bildes ließe sich so der oben beschriebene „V“-Effekt vermeiden.

Bei allem müßte die Justierung der Teleskopmontierung auf die Erdachse als Grundvoraussetzung für genaue Arbeiten optimiert werden. Bislang müssen vor jeder Beobachtung das Instrumentarium eigens aufgebauen und justieren.

Außerdem könnten wir auch noch andere Filmarten testen, um eventuell auch verwendbare Spektren in Farbe zu erhalten.

Weiterhin wäre eine Vermessung der spektralen Intensitäten eine Möglichkeit für ein Folgeprojekt. Dies würde jedoch eine Verbesserung der Auflösung und der Genauigkeit der Aufnahmen erfordern.

4. Literaturverzeichnis

[1] Binnewies, Stefan / Riepe, Peter / Tomsik, Harald: *Kodak Ektacolor ProGold 400*
in: Sterne und Weltraum, 6/96, 484-487

[2] Felmy, Wolf-Günter/ Kurtz, Hansjörg: *Spektroskopie*
Ernst Klett Verlag, Stuttgart 1976

[3] Herrmann, Joachim: *Das große Lexikon der Astronomie*
Bertelsmann Lexikon Verlag GmbH, Gütersloh 1996

[4] Kaler, James B.: *Sterne und ihre Spektren*
Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg Berlin Oxford 1994

[5] Keller, Hans-Ulrich: *Astrowissen*
Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. Stuttgart

[6] *KODAK-Datenblätter*, v.a. P-A4

[7] Sommer, N.:*Blaze-Gitter-Spektroskop/Spektrograph*
Baader Planetarium GmbH

[8] *Sterne und Weltraum*
Verlag Sterne und Weltraum Dr. Vehrenberg GmbH München

[9] Zimmermann, Otto: *Sternspektrographie in der Schule*
in: Sterne und Weltraum, 11/8