Gestreifte Sternenbilder

TECHNISCHE VERBESSERUNG DER AUFNAHME UND AUSWERTUNG
VON STERNSPEKTREN
ZWECKS STANDARDISIERUNG DER ERZIELBAREN ERGEBNISSE

VON MATTHIAS FRITZSCHE, MARTIN KONRAD UND STEFANIE SAMMET

Gliederung

1 IDEE 2

2 DURCHFÜHRUNG 2

2.1 Theorie der Spektroskopie 2
2.1.1 Die Entstehung von Emissions- und Absorptionslinien 2
2.1.2 Das Gitter als Dispersionsmittel 2
2.2 Arbeitsvoraussetzungen 3
2.2.1 Die örtlichen Bedingungen 3
2.2.2 Das Teleskop 4
2.3 Vorbereitungen zur Spektrografie 4
2.3.1 Die Fokussiermethode 4
2.3.2 Die Formel zur Berechnung der Belichtungszeiten 5
2.4 Die TimeX-Unit – unsere zusätzliche Steuerung 6
2.4.1 Die Probleme bei der Entwicklung 6
2.4.2 Die Vorteile der TimeX-Unit 7
2.5 Filme und Fotochemie 8
2.5.1 Der Schwarzschildexponent 8
2.5.2 Die Auswahl der Filme 9
2.5.3 Die Filmentwicklung 9
2.6 Die Auswertung mit dem Computer 10
2.6.1 Der Scanner und die Bildbearbeitung 10
2.6.2 Die grafische Darstellung 10
2.6.2.1 Das Programm „Spectrography“ 10
2.6.2.1.1 Die Idee 10
2.6.2.1.2 Die Funktionsweise 11
2.6.2.2 Die Auswertung mit Excel 11

3 DISKUSSION 12

3.1 Gesamtergebnis 12
3.2 Probleme und potentielle Fehlerquellen 13
3.3 Reflexion und Aussichten 13

4 LITERATUR- UND BILDQUELLENVERZEICHNIS 14

1 Idee

Fast das gesamte Wissen über die Sterne basiert auf Spektrometrie. Aus diesem Grund beschäftigten wir uns seit ’97 mit der Aufnahme von Sternspektren.

Dabei sind die „Längsstreifen“ in den „Sternenbildern“ (Spektren) die Absorptionslinien. Diese geben darüber Auskunft, aus welchen Elementen der jeweilige Stern besteht.

Schon 1998 nahmen wir mit einer Arbeit zum Thema Sternspektroskopie an „Jugend forscht“ teil. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse und entstandenen Probleme führten zu unserem Entschluss, an dem Thema weiterzuarbeiten. Ziel unserer Forschung war es, die Präzision bei der Auffächerung der Spektren mit Hilfe einer selbstgebauten Teleskop-Zusatzsteuerung zu erhöhen, um optimal ausgeleuchtete Spektren zu erhalten.

Da eine unmittelbare Auswertung des Negatives keine ausreichende Genauigkeit liefert, beabsichtigten wir, eine Auswertmethode zu entwickeln, bei der die Helligkeit des eingescannten Bildes in einem Diagramm aufgetragen wird.

Durch diese Änderungen in der Aufnahme- und Auswerttechnik ergeben sich genauere Analysemöglichkeiten.

2 Durchführung

2.1 Theorie der Spektroskopie

2.1.1 Die Entstehung von Emissions- und Absorptionslinien

Nach dem Bohrschen Atommodell besitzen Atome verschiedene Schalen, auf denen Elektronen kreisen. Durch Strahlung mit einer elementspezifischen Wellenlänge (einer bestimmten Energie) werden Atome angeregt, d. h. einzelne Elektronen wechseln auf eine höhere Schale. Nach diesem Schema treffen auch in einem Stern Photonen verschiedener Wellenlänge und somit verschiedener Energie aus dem Sterninneren auf das Gasgemisch der Sternatmosphäre. Dadurch hinterlässt diese einen charakteristischen „Fingerabdruck“ im Kontinuum.

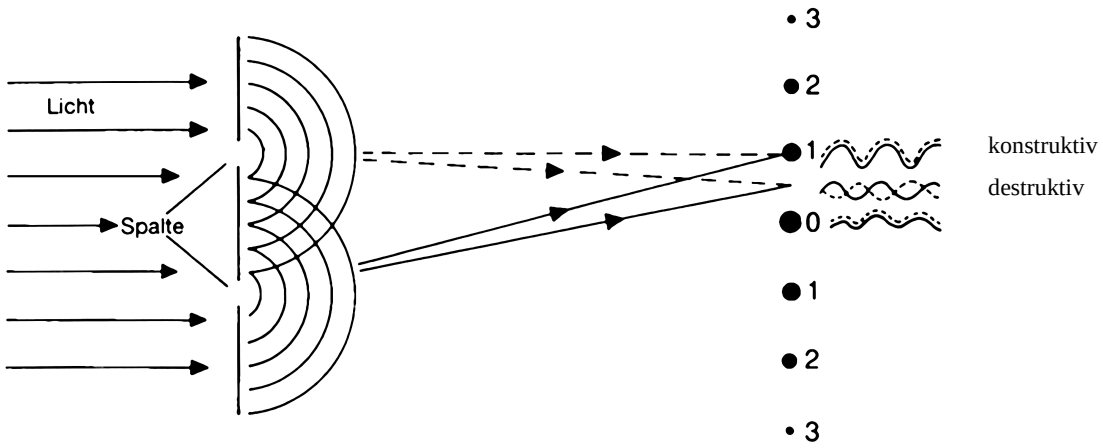
Die beim Zurückfallen auf das Ursprungsniveau emittierte Strahlung wird in alle Richtungen ausgesendet. Deshalb kann der Beobachter nur einen kleinen Teil davon wahrnehmen, d. h. der „Fingerabdruck“ bleibt sichtbar. Diese Stellen, an denen dem Spektrum Licht „fehlt“, werden als Absorptionslinien bezeichnet.

2.1.2 Das Gitter als Dispersionsmittel

Im Grunde genommen ist ein Transmissionsgitter nur ein Glasscheibchen, in das parallele Rillen geritzt wurden. Durch diese Rillen erfährt das ankommende Licht – ausgelöst durch Interferenz – eine Ablenkung. Je größer die Wellenlänge dieses Lichtes ist, um so stärker wird es gebeugt. Dadurch entsteht aus weißem Licht ein kontinuierliches Spektrum.

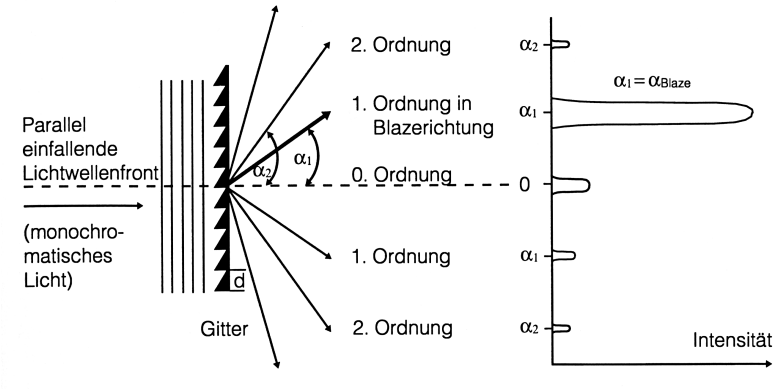
Wählt man den Abstand der Rillen voneinander möglichst klein, d. h. erhöht man die Anzahl der Rillen auf dem Gitter, erreicht man eine höhere Auflösung.

Da es an verschiedenen Stellen zu konstruktiver Interferenz kommt, werden neben dem zur Auswertung benötigten Spektrum noch weitere Ordnungen erzeugt, wobei die Helligkeit von der nullten zu den höheren Ordnungen hin abnimmt:



Interferenzmuster eines Doppelspaltes bei monochromatischem Licht

Um diese Lichtverschwendung zu vermeiden ist bei unserem Blaze-Gitter das Licht durch eine spezielle Rillenform auf die erste Ordnung konzentriert:



Dadurch wird eine Auswertung der Spektren auch bei lichtschwachen Sternen ermöglicht.

2.2 Arbeitsvoraussetzungen

2.2.1 Die örtlichen Bedingungen

Unsere Schule liegt am Rand von Großkrotzenburg, ca. 10 km von Hanau entfernt. Zwar kommt uns die Lage direkt am Waldrand gelegen, jedoch ist der Himmel durch die Nähe des Rhein-Main-Siedlungsgebietes stark aufgehellt, was durch diverse Flugzeuge (Einflugschneise des Frankfurter Flughafens) noch verstärkt wird. Erschwerend kommt hinzu, dass in recht geringer Entfernung das Kohlekraftwerk „Staudinger“ Dampfwolken produziert. Aufgrund dieser Ortsverhältnisse sind unsere Beobachtungsmöglichkeiten stark eingeschränkt.

Unser Beobachtungsstandort liegt ca. 50 m von der Bahnlinie Frankfurt – Würzburg entfernt und erfährt deshalb durch vorbeifahrende Züge Erschütterungen. Außerdem stört das Streulicht einer nahegelegenen Straße bei den Aufnahmen.

Da wir die Instrumente nicht dauerhaft an einem Ort stehen lassen können, müssen wir sie vor jeder Beobachtung aufbauen und neu justieren. Unsere durch die örtlichen Bedingungen eingeschränkte Beobachtungszeit wird daher zusätzlich verringert.

2.2.2 Das Teleskop

Für die „Jugend forscht“-Arbeit ’98 hatten wir das „Merz“, einen Vierzollrefraktor, benutzt. Dessen Optik, welche aus dem 19. Jahrhundert stammt, weist eine Brennweite von 1680 mm auf.

Dieses Jahr entschlossen wir uns, mit dem ebenfalls im Schulbestand vorhandenen C11 zu arbeiten, dessen Brennweite 2.800 mm beträgt. Dieses Schmidt-Cassegrain-Spiegelteleskop der Firma Celestron ist aufgrund seiner größeren Öffnung (11 Zoll) wesentlich lichtstärker und besitzt ein höheres Auflösungsvermögen. Deshalb ist es für Spektralaufnahmen besser geeignet. Außerdem liefert das C11 kontrastreichere Abbildungen. Der begrenzende Faktor ist daher das Auflösungsvermögen unseres Gitters (207 Lp/mm). Das C11 ist zudem aufgrund seiner Größe leichter zu transportieren als das über 2 m lange „Merz“.

Das Teleskop ist auf einer parallaktischen Montierung befestigt, die durch zwei Schrittmotoren angetrieben wird. Leider hat unsere Montierung ein recht großes Getriebespiel, wodurch der Motor nach einem Richtungswechsel nicht sofort anläuft.

Als Steuerung benutzen wir die Sinus-II, eine Entwicklung der Firma Baader Planetarium, und bei Spektralaufnahmen zusätzlich die von uns entwickelte TimeX (s. 2.4).

2.3 Vorbereitungen zur Spektrografie

2.3.1 Die Fokussiermethode

Bereits im letzten Jahr ergab sich die Frage, wie man eine Unschärfe bei den Spektrografien vermeiden kann. Da ein Scharfstellen der nullten Ordnung nicht gleichzeitig eine optimale Fokussierung der ersten Ordnung bedeutet, muss man auf das fadenförmige Spektrum scharfstellen. Dies ist aber ohne Hilfsmittel unmöglich, da man visuell nicht erkennen kann, wann die Abbildung fokussiert ist.

Daher verwenden wir eine Methode, die vor allem bei der „normalen“ Fotografie von Sternen angewandt wird: Wir setzen vor das Objektiv unseres Teleskops eine selbstgebaute Doppellochblende, die bei Defokussierung zwei deutlich getrennte Abbildungen erzeugt. Sobald durch Verändern der Bildweite beide Abbildungen überlagern, ist exakt scharfgestellt.

2.3.2 Die Formel zur Berechnung der Belichtungszeiten

Da wir unsere ohnehin knappe Beobachtungszeit nicht durch zahlreiche Probeaufnahmen zusätzlich verringern wollten, suchten wir nach einer Möglichkeit, die jeweils benötigten Belichtungszeiten rechnerisch zu ermitteln. Die angestrebte Formel sollte Sternhelligkeit, Filmeigenschaften und Teleskopeigenschaften berücksichtigen.

In einem Fachbuch [6] fanden wir folgende Gleichung: $t^p = \frac{25\,\mathrm{ASA} \cdot 0{,}1\,\mathrm{lx\,sec}}{E \cdot I \cdot V}$.

„t^p“ ist die Belichtungszeit, wobei man den Schwarzschildexponenten (s. 2.5.1) noch berücksichtigen muss.

Bei dieser Berechnung geht man von der Tatsache aus, dass ein Stern, der eine Beleuchtungsstärke von 0,1 Lux auf den Film bringt, auf einem 25-ASA-Film eine Sekunde lang belichtet werden muss, um diesen optimal zu schwärzen.

Ähnlich kann man auch die Belichtungszeiten für andere Sterne und Instrumente berechnen. Als erstes teilt man durch die Empfindlichkeit „E“ des verwendeten Filmes in ASA.

Außerdem wird durch die Beleuchtungsstärke „I“ geteilt, welche sich durch folgende Formel aus der Größenklasse (m = magnitudo) eines beliebigen Sternes berechnen lässt: $I = 10^{0{,}4\cdot(-m)} \cdot 2{,}06 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{lx}$. Diese Gleichung stellt die Umkehrung der Definitionsgleichung für die Größenklasse dar: Wir empfangen nach dieser Definition von einem Stern erster Größe $2{,}512\,(=10^{0{,}4})$ mal weniger Licht als von einem Stern nullter Größe. Dieser Abstand bleibt zwischen allen Größenklassen konstant. Ein Stern nullter Größe liefert nach der Definition die Beleuchtungsstärke $2{,}06 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{lx}$.

„V“ stellt den Verstärkungsfaktor dar. Dieser wird „normalerweise“ durch das Verhältnis der Teleskopöffnung zur Fläche des Beugungsscheibchens festgelegt.

Um diese Formel auf Spektren anwenden zu können, muss man beim Verstärkungsfaktor im Nenner anstelle der Fläche des Beugungsscheibchens die Spektrenfläche berechnen.

Daraus ergibt sich dann die folgende Gleichung: $V = \frac{r^2 \cdot \pi}{A_{\mathrm{Spektrum}}}$.

Dabei errechnet sich A_{Spektrum} aus der Spektrenbreite, die 8 mm beträgt, wie wir auf mehreren Spektrografien nachgemessen haben, und der Spektrenhöhe in mm.

Fügt man nun alle Formeln zusammen, erhält man die nachstehende Gesamtgleichung:

$$t_{\mathrm{Bel}} = \sqrt[p]{\frac{0{,}1\mathrm{lx} \cdot 25\mathrm{ASA} \cdot 8\mathrm{mm} \cdot \mathrm{Spektrenhöhe}}{E \cdot 10^{-0{,}4\cdot m} \cdot 2{,}06 \cdot 10^{-6}\mathrm{lx} \cdot r^2 \cdot \pi}}\,\mathrm{sec}$$

Um die Formel besser handhaben zu können, setzten wir sie durch ein Programm in QBasic um.

2.4 Die TimeX-Unit – unsere zusätzliche Steuerung

TIMing and EXposure unit for star spectrography

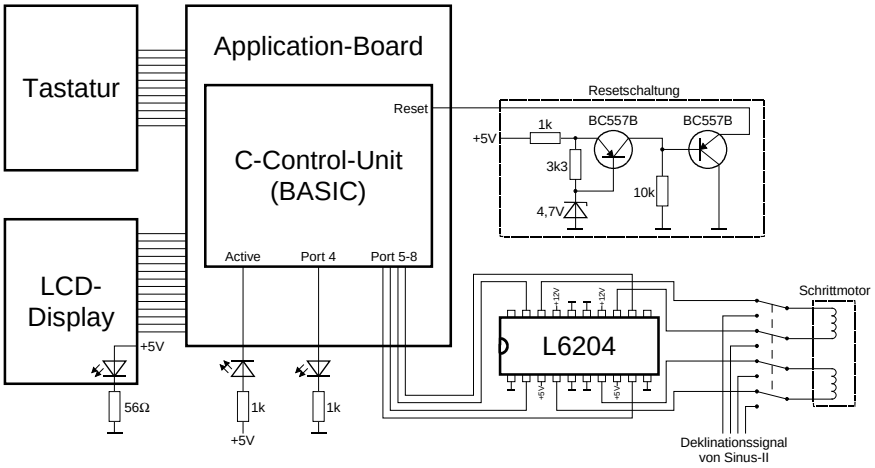
Zur Auswertung eines Sternspektrums muss man das eigentlich strichförmige Spektrum auffächern, damit die Spektrallinien sichtbar werden.

Um optimal belichtete Spektrografien zu erreichen, sind aufgrund der unterschiedlichen Sternhelligkeiten beliebig variierbare Belichtungszeiten und damit variable Frequenzen des Auffächerungsmotors erforderlich. Dies ist mit unserer kommerziellen Steuerung (Sinus-II) nicht möglich, daher haben wir eine eigene Steuerung entwickelt: Die „TIMing and EXposure unit for star spectrography“ (im Folgenden kurz TimeX genannt).

2.4.1 Die Probleme bei der Entwicklung

Da der Rektaszensionsmotor permanent als Nachführung laufen muss, um die Erddrehung auszugleichen, ist eine Auffächerung in Deklination wesentlich einfacher zu realisieren als eine Veränderung der Motorfrequenz in Rektaszension. Daher steuert die TimeX nur die Deklination, während der Rektaszensionsmotor weiterhin über die Sinus-II läuft: Die TimeX ist also eine Erweiterung für die Sinus-II.

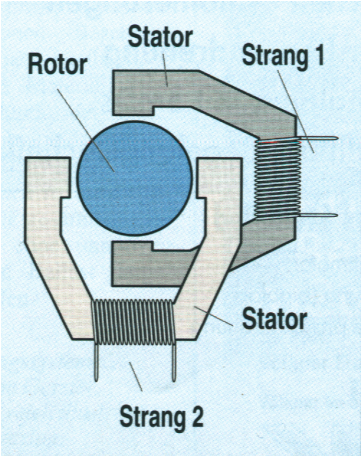
Um die Steuerung der Schrittmotoren möglichst einfach und stromsparend zu realisieren, entschlossen wir uns zum Einsatz eines Mikrocontrollers. Die Firma Motorola empfahl uns den Mikroprozessor 68HC05. Wir entschieden uns für die C-Control-Unit, ein fertiges Board der Firma Conrad Electronic, mit welchem dieser Chip in Basic programmiert werden kann. Das dazugehörige Application-Board ermöglicht den Anschluss einer Tastatur und eines Displays. Zusätzlich bauten wir eine Überwachungsschaltung ein, die den Datenverlust bei Spannungsabfall verhindert.

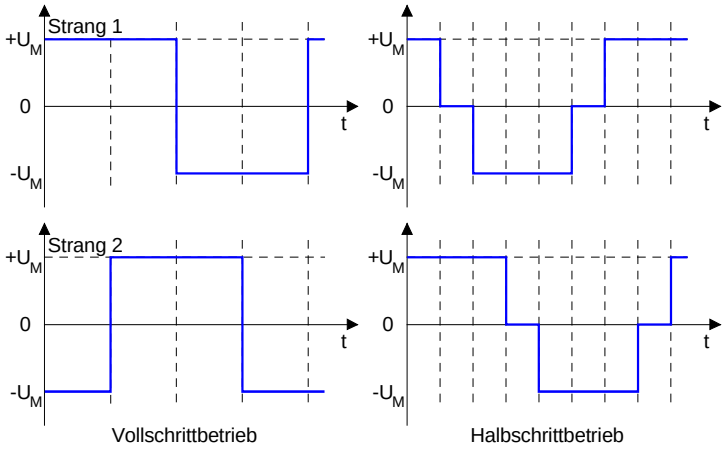


Als Leistungstreiber für den Motor verwendeten wir zunächst einen speziellen Schrittmotortreiber, den SAA1024. Schon bei der ersten Inbetriebnahme wurde der Treiber jedoch so heiß, dass wir mit einer Fehlfunktion rechnen mussten. Auch ein zusätzlicher Kühlkörper schaffte keine Abhilfe. Deshalb entschieden wir uns, den L6204 der Firma SGS Thomson einzusetzen, der bei der Sinus-II ebenfalls verwendet wird.

Die Ansteuerung dieses Treibers ist zwar etwas komplizierter als die des SAA1024, aber durch einen niedrigeren Innenwiderstand ist die Verlustleistung geringer. Dadurch ist er besonders für den Akku-Betrieb geeignet.

Für uns stellte sich jetzt die Frage, wie wir den Motor ansteuern sollten. Dabei unterscheidet man nämlich zwischen Voll- und Halbschrittbetrieb:





Die Signale für die beiden Wicklungen sind gleich, aber 90° phasenverschoben.

Im Halbschrittbetrieb hat der Motor acht Zustände pro Umdrehung. Um einen möglichst ruhigen Motorlauf zu gewährleisten, haben wir uns für den Halbschrittmodus entschieden.

Da die Schrittmotor-Steuerungs-Software in Realtime ablaufen muss, ist es erforderlich, die Programmzyklen der Belichtungszeit anzupassen. Die benötigten Wartezeiten wurden zunächst mit dem BASIC-Befehl „PAUSE“ realisiert. Deren Dauer dann allerdings nur Vielfache von 20 ms beträgt. Dadurch können die einzelnen Frequenzen aber nicht mit ausreichender Genauigkeit erreicht werden.

Ein Lösungsansatz war, die Routine in Assembler zu schreiben. Dies erwies sich jedoch als unmöglich, da das C-Control-Betriebssystem unsere Programme offenbar beeinflusste.

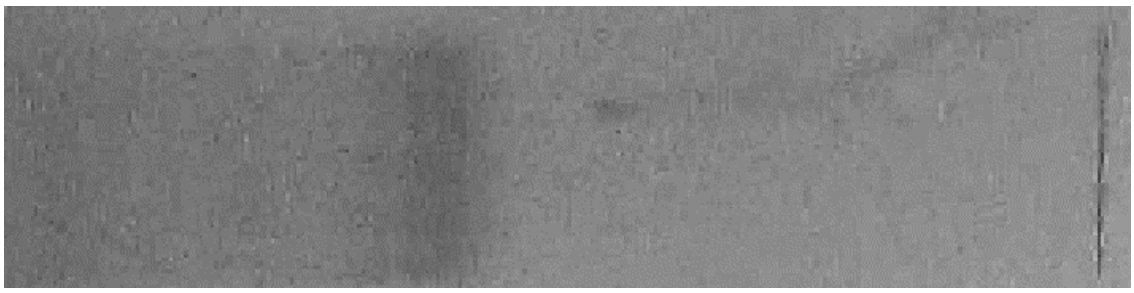
Eine genaue Fehlerdiagnose konnten wir leider nicht erstellen, da das Betriebssystem den Einsatz eines Debuggers erschwert.

Wir entschieden uns schließlich für eine Lösung in BASIC, bei der die Pausen durch Schleifendurchläufe erzeugt wurden.

2.4.2 Die Vorteile der TimeX-Unit

Bei der Verwendung der Sinus-II ist es leider nur möglich, die Steuerung „schnell“ oder „langsam“ laufen zu lassen, wodurch die Belichtungszeiten für die wenigsten Sterne optimal sind. Die Geschwindigkeit kann man nämlich bei der Sinus-II lediglich über verschiedene DIP-Schalter-Kombinationen sehr umständlich ändern. Außerdem sind nur Motorfrequenzen zwischen 4 Hz und 2500 Hz möglich, und wir benötigen meist Frequenzen von unter 4 Hz.

Deshalb benutzten wir zunächst die Pendelmethode, die auch viele andere Amateur-Astronomen verwenden. Dabei wird der Stern mehrmals so lange über den Film hin und her geführt, bis die Lichtintensität ausreichend ist. Dies führt allerdings schon bei einer leichten Dejustierung der Teleskopmontierung zu einer Verschmierung des Spektrums (gut erkennbar an der N-Form der nullten Ordnung).



Der größte Vorteil der TimeX ist daher, dass man die Frequenz nahezu beliebig einstellen kann und deshalb nur in eine Richtung auffächern muss.

Hinzu kommt, dass durch die Eingabe der gewünschten Belichtungszeit und Spektrenhöhe neben dem viel höheren Bedienungskomfort auch eine größere Genauigkeit gegeben ist als bei der Sinus-II, die man mit Hilfe einer Stoppuhr bedienen musste. Die so verbesserte Bedienungsfreundlichkeit ermöglicht jetzt auch eine „Ein-Mann-Bedienung“.

2.5 Filme und Fotochemie

2.5.1 Der Schwarzschildexponent

Für „normale“ Fotografien stellt man eine Proportionalität zwischen der einfallenden Lichtmenge und der Filmschwärzung fest. Überträgt man diese allerdings auf die Aufnahme lichtschwacher Objekte (Langzeitaufnahmen), so sind die Bilder deutlich unterbelichtet. Dieser Effekt wurde von Karl Schwarzschild entdeckt und wird daher als Schwarzschildeffekt bezeichnet. Er erkannte, dass zwischen der theoretischen und der effektiven Belichtungszeit folgender Zusammenhang besteht: $t_{eff.}^{\ p} = t_{theo.}$

Allerdings ist der sogenannte Schwarzschildexponent „p“ von Film zu Film verschieden. Daher muss er für jeden Film einzeln durch folgende Formel bestimmt werden: $p = \frac{\log t_{theo.}}{\log t_{eff.}}$.

Die Werte für „$t_{theo.}$“ und „$t_{eff.}$“ kann man bei manchen Filmen (z. B. dem TP und dem T-MAX) dem Datenblatt entnehmen. Anderenfalls muss man „p“ experimentell bestimmen, was sehr aufwendig ist.

2.5.2 Die Auswahl der Filme

Vor einem Jahr nahmen wir mit einem Mitglied der „Vereinigung der Sternfreunde - Fachgruppe Spektroskopie“ Kontakt auf, um einige Anregungen zur Auswahl, Belichtung und Entwicklung der Filme zu erhalten. Nach umfassendem Sammeln von Informationen v. a. aus Fachliteratur und durch Studieren der Filmdatenblätter kamen wir zu dem Ergebnis, dass der TP 2415 und der T-MAX 400 bzw. T-MAX 3200 von KODAK wohl die für unsere Zwecke am besten geeigneten Filme sind. In Frage gekommen wäre zwar noch der Fuji Neopan 400. Die Firma Fuji macht jedoch leider keine filmspezifischen Angaben zum Schwarzschildexponent und wir hatten keine Zeit, diesen durch Experimente zu bestimmen.

Die drei KODAK-Filme sind panchromatische Schwarz-Weiß-Negativfilme, wobei der TP sich unter diesen durch seine hohe Rotempfindlichkeit auszeichnet. Er ist damit momentan der einzige für unsere Zwecke geeignete Schwarz-Weiß-Film, der H_α deutlich abbilden kann. Negativ bemerkbar macht sich allerdings die geringe Empfindlichkeit (25 – 200 ASA je nach Entwicklung), wodurch lange Belichtungszeiten erforderlich sind. Diese werden durch den Schwarzschildexponent von 0,75 beim ungehyperten Film noch verstärkt. Hypersensibilisiert man diesen Film jedoch, so ist der Schwarzschildexponent annähernd eins. Nachteilig ist allerdings, dass einerseits die Kosten und der Aufwand für die Beschaffung recht groß sind und andererseits die Hypersensibilisierung nur etwa einen Monat anhält.

Der T-MAX dagegen hat von sich aus eine wesentlich höhere Empfindlichkeit und kann zusätzlich gepushed werden. Auch ist er durch einen Schwarzschildexponent von 0,8 besser zur Langzeitfotografie geeignet als der nicht hypersensibilisierte TP. Der T-MAX ist im roten Bereich zwar nicht so empfindlich wie der TP, besitzt dafür jedoch eine relativ ausgeglichene spektrale Empfindlichkeit und somit – im Gegensatz zum TP – keine ausgeprägte „Grünschwäche“.

Alle drei Filme eignen sich von ihrer Auflösung her sehr gut für unsere Zwecke: sie erreichen durch ihr feines Korn mehr als die dreifache Auflösung unseres Gitters.

2.5.3 Die Filmentwicklung

Schon aus der Beschreibung der von uns verwendeten Filme ist ersichtlich, dass man diese nicht einfach in einem Fotogeschäft entwickeln lassen kann.

Daher entschlossen wir uns, die Filme im schuleigenen Fotolabor selbst und nach unseren Bedürfnissen zu entwickeln.

Sowohl für den TP als auch für den T-MAX verwendeten wir als Entwickler den Kodak HC-110, allerdings in unterschiedlichen Verdünnungen. Im Allgemeinen hielten wir uns an die Anweisungen des Datenblattes, variierten nur gegebenenfalls die Entwicklungszeiten, um den Kontrast zu ändern.

2.6 Die Auswertung mit dem Computer

2.6.1 Der Scanner und die Bildbearbeitung

Um die nur ca. 8 mm breiten Spektren auswerten zu können, muss man diese vergrößern, da sonst eine exakte Vermessung der Linien nicht möglich ist. Die allgemein angewandte Möglichkeit der Projektion mit einem Diaprojektor schied aus, da durch die hohen Temperaturen der Lampe einige unserer Filme (z. B. der TP) zerstört würden. Außerdem wäre zum Vergleich mit einem Referenzspektrum ein zweiter Projektor nötig, der sehr genau justiert sein müsste, um die Spektren exakt übereinander anzuordnen.

Eine viel genauere Auswertung lässt sich am Computer vornehmen, da interessante Bereiche des Spektrums beliebig vergrößert werden können. Zu diesem Zweck müssen die Spektren jedoch digitalisiert werden. Ideal wäre hierzu eine CCD-Kamera geeignet. Leider steht uns eine solche aber nicht zur Verfügung. Deshalb verwendeten wir einen Flachbettscanner (Mustek Paragon 1200 SP) mit Durchlichtaufsatz. Mit diesem Gerät kann eine Auflösung von 1200 dpi (ohne Interpolation) erreicht werden. Der bei diesem Scanner recht deutlich auftretende Konvergenzfehler hat keine Auswirkungen, da nur Graustufenbilder eingelesen werden. Ein Nachteil der digitalen Bildbearbeitung ist die begrenzte Auflösung des Gerätes, die sich durch den Einsatz eines professionellen Fotoscanners noch verdoppeln ließe. Außerdem sind die Maxima bzw. Minima der Linien auch auf den gescannten Bildern visuell nicht genau zu erkennen.

2.6.2 Die grafische Darstellung

2.6.2.1 Das Programm „Spectrography“

2.6.2.1.1 Die Idee

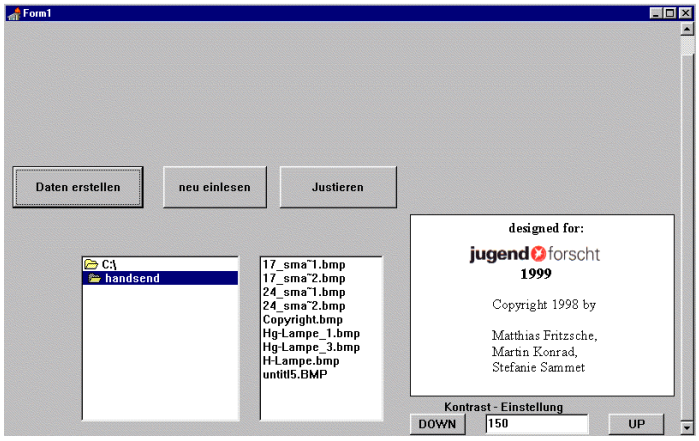
Ein weiterer Schritt zur Steigerung der Genauigkeit besteht daher in einem Programm, welches die Spektren in ein Diagramm umwandelt, wobei die Intensität der einzelnen Pixel über der Wellenlänge aufgetragen wird. Dieses Programm muss Bilder im Bitmap-Format auswerten können. Hinzu kommt, dass sich beim Auffächern der Spektren Verschiebungen der Linien ergeben, sodass es zu Verfälschungen der Messdaten kommt:

Die Software sollte also eine Bitmap-Datei in Zahlenwerte konvertieren, dabei die Verschiebungen der Linien ausgleichen und mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogrammes in einen Graphen umrechnen. Die „Tiefpunkte“ stellen dann die Absorptionslinien dar. Sie lassen sich genau ausmessen und somit besser auswerten.

2.6.2.1.2 Die Funktionsweise

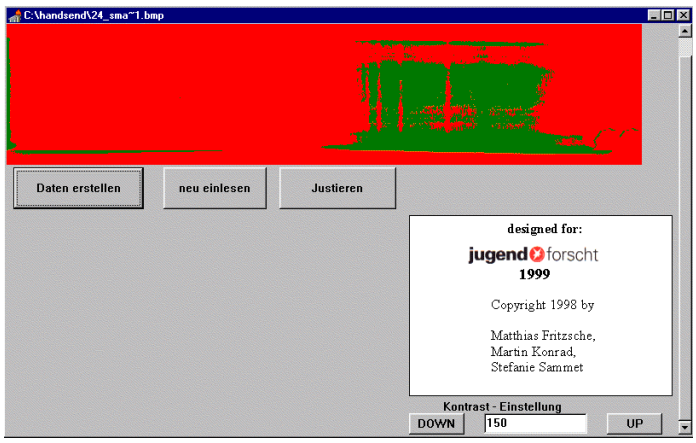
Die Software wurde mit Hilfe von Delphi 2.0 entwickelt. Damit ist eine einfache Gestaltung der Oberfläche möglich. Außerdem bietet Delphi gute Debug-Möglichkeiten.

Die abgescannte BMP-Datei wird eingelesen, pixelweise in Zahlenwerte konvertiert und als ASCII-Datei exportiert.



Vor der Umwandlung sollen die Fehler, die bei der Aufnahme des Spektrums entstanden sind, ausgeglichen werden.

Deshalb programmierten wir eine zusätzliche Funktion, die die nullte Ordnung im Spektrum ermittelt und anhand dieser das Spektrum ausrichtet. Dazu sucht das Programm innerhalb der ersten x Pixel (diese Variable kann eingegeben werden) den Minimalwert, dessen X-Koordinate dann auf eins gesetzt wird. Diese Funktion wird durch den Button „Justiere“ aufgerufen.



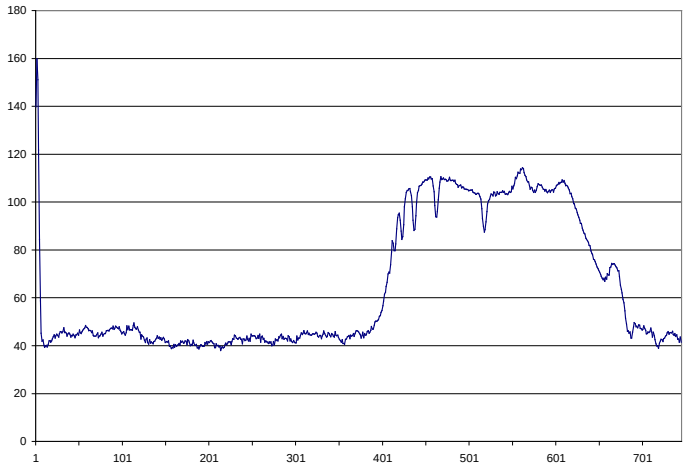
Sobald man den Button „Daten erstellen“ drückt, wird die .DAT-Datei erstellt. Der rote Balken zeigt den Fortschritt dieses Vorgangs an. Die .DAT-Datei befindet sich dann im selben Verzeichnis wie das eingelesene Bild und trägt auch den gleichen Namen. Da die Daten im Textformat gespeichert sind, könnten sie mit jeder Tabellenkalkulations-Software ausgewertet werden.

2.6.2.2 Die Auswertung mit Excel

Die von unserem Programm erzeugten Zahlenwerte werden in Excel importiert und mit den dort zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln weiterverarbeitet. Wir wählten eine grafische Auswertung im Liniendiagramm, bei der die Intensitätswerte über den Pixelnummern aufgetragen werden. Man erkennt dann deutlich die Absorptionslinien, allerdings kann man diese aufgrund der fehlenden Wellenlängenskala nicht genau vermessen.

Um diese Vermessung zu ermöglichen, griffen wir zum Teil auf die Ergebnisse des letzten Jahres zurück, wo wir durch Vergleich mit Wasserstoff-Emissionsspektren auch die Wellenlängen der anderen Elemente bestimmt hatten. Die Methode des Vergleichens

behielten wir bei, da wir jede beliebige Linie, deren Wellenlänge uns bekannt ist, zur Kalibrierung heranziehen können. Während wir im letzten Jahr die Wellenlängenskala lediglich durch Vergrößern und Ausrichten an das Spektrum anpassten, können wir nun die dabei entstehenden Ungenauigkeiten durch eine rechnerische Lösung vermeiden: Wir suchen einige Linien heraus, deren Wellenlängen uns bekannt sind. Dann legen wir eine neue Tabelle an, in deren erste Spalte wir die Pixelnummer des Absorptionslinienminimums eintragen. Diesen Pixelnummern wird dann die Wellenlänge zugeordnet. Daraus erstellen wir ein neues Diagramm, zu dem wir uns von Excel die Trendlinie ermitteln lassen. Mit Hilfe dieser Funktionsgleichung kann man nun aus den Pixelnummern die Wellenlängen berechnen. Erstellt man mit diesen Werten ein neues Diagramm, wird die Intensität über der Wellenlänge aufgetragen, wodurch man auch schwächere vorher unbekannte Linien zuordnen kann.



Als Beispiel ist nebenstehend der aus dem obigen Spektrum erstellte Graph abgebildet. Die „Einbrüche“ im Graphen sind die Absorptionslinien. Dabei ist auch genau ablesbar, wo die Linie ihr Minimum hat.

Hier lässt sich also eine wesentlich genauere Auswertung durchführen als bei der visuellen Vermessung der Bilddatei. Zusätzlich ist es möglich, die Intensität der Linien zu bestimmen und damit Angaben über die Dominanz des nachgewiesenen Elementes machen. Deutlich beweist der Ausschlag der nullten Ordnung ganz am linken Rand, dass das Spektrum genau justiert ist.

3 Diskussion

3.1 Gesamtergebnis

Als Gesamtergebnis kann man feststellen, dass wir unser selbstgestecktes Ziel weitgehend erreicht haben. So ist es uns durch die Verwendung der TimeX, die exaktere Berechnung der Belichtungszeiten, die bessere Auswahl der Filme und die filmspezifische Entwicklung gelungen, bedeutende Verbesserungen der Spektrografien zu erreichen. Dies ließ sich schon nach wenigen Beobachtungsnächten feststellen: Die Spektren sind viel gleichmäßiger belichtet, sodass ein Vergleich wesentlich einfacher und genauer ist. Allerdings wäre es sicher möglich, auf diesem Gebiet mit etwas mehr Übung in einigen klaren Nächten unsere bisherigen Ergebnisse noch zu optimieren.

Auch ermöglicht uns vor allem das Auswertungsprogramm eine bedeutend bessere und problemlosere Auswertung, was sich schon bei wenigen exemplarischen Tests zeigte.
Das Gesamtergebnis ist also unter Berücksichtigung der eingesetzten Mittel durchaus positiv zu bewerten.

3.2 Probleme und potentielle Fehlerquellen

Unser größtes Problem ist die mangelnde Auflösung der Instrumente. Die begrenzenden Faktoren sind dabei vor allem das Gitter und die Auflösung des Scanners. Die Anschaffung eines leistungsfähigeren Gitters wäre jedoch mit erheblichen Kostenaufwand verbunden.
Durch den Einsatz eines professionellen Photoscanners oder einer hochwertigen CCD-Kamera könnte die Auswertung der Spektren noch optimiert werden. Doch stehen uns diese in der Anschaffung ebenfalls sehr teuren Geräte leider nicht zu Verfügung.
Bei der Aufnahme der Spektren ist auch das Getriebespiel zu berücksichtigen. Da wir extrem niedrige Motorfrequenzen verwenden, braucht der Motor eine recht lange Zeit, um dieses Spiel zu überwinden. Zudem arbeiten die Motoren durch das ständige Auf- und Abbauen der Instrumente und durch das große Gewicht, mit dem die Montierung belastet ist, oft nicht zuverlässig.

3.3 Reflexion und Aussichten

Wie man schon am Gesamtergebnis sieht, haben wir mit den uns zur Verfügung stehenden Mitteln eine wesentliche Verbesserung erzielt. D. h. es lassen sich durch Anwendung der von uns entwickelten Methoden bei gutem Wetter verschiedene astrophysikalische Untersuchungen durchführen.
Ziel wäre daher, zunächst eine Sammlung von auswertbaren Spektrografien zu erstellen. So wäre es zum Beispiel möglich, Aufnahmen von verschiedenen Sternen derselben Spektralklasse zu machen, um zu schauen, inwieweit die Linien übereinstimmen. Mit Hilfe der Äquivalenzbreitenvermessung können dann Aussagen über die relative Häufigkeit der Elemente gemacht werden.
Mit der verbesserten Technik ist es jetzt endlich möglich, spektrale Doppelsterne zu untersuchen, ein Ziel, welches wir schon länger ins Auge gefasst haben.
Insgesamt kann man feststellen, dass es jetzt, sobald der Himmel klar ist, ohne allzu großen Zeitaufwand (abgesehen vom Aufbau und der Justierung) möglich ist, gut auswertbare Spektrografien zu erstellen und diese auch spektrometrisch zu bearbeiten.

4 Literatur- und Bildquellenverzeichnis

1. Felmy, Wolf-Günther; Kurtz, Hansjörg: Spektroskopie. Stuttgart: Ernst Klett Verlag 1976. 199 S.
2. Dr. Graewe, Herbert: Die physikalischen und chemischen Grundlagen der Photographie. Eine Stoffauswahl für photographische Arbeitsgemeinschaften. Köln: Aulis [3]1984. 176 S. S. 132-134
3. Holtorf, Klaus: Das Handbuch der Grafikformate. Ausführliche Beschreibung von Bitmap-Grafikformaten, Konvertierungstips, Konvertierungssoftware. Feldkirchen: Franzis [3]1996. 432 S. S. 57-64
4. Kaler, James B.: Sterne und ihre Spektren. Astronomische Signale aus Licht. Heidelberg; Berlin; Oxford: Spektrum Akademischer Verlag 1994. 367 S.
5. Karkoschka, Erich: Atlas für Himmelsbeobachter. Stuttgart: Franckh-Kosmos [3]1997. 127 S.
6. Knapp, W. / Hahn, H. M.: Astrofotografie als Hobby. Eine Anleitung für Amateur-Astronomen. Herrsching: vwi-Verlag 1980. 136 S.
7. Koch, Bernd: Handbuch der Astrofotografie. Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris; Tokyo; Hong Kong;Barcelona; Budapest: Springer 1995. 324 S.
8. Nührmann, Dieter: Das große Werkbuch Elektronik. Datensammlungen – Bauelemente – Grundschaltungen. Feldkirchen: Franzis. ca. 3336 S; (CD-ROM).
9. HD 44780. Punktmatrix-LCD-Controller. In: Elektronik Aktuell Magazin 13 (1998), H. 5, S. 35-36
10. BASIC als Basis. CC-BASIC-Applicationboard (11). In: Elektronik Aktuell Magazin 13 (1998), H. 5, S. 65-70
11. Schrittweise. Schrittmotor-Steuerung (Zweistrang). In: Elektronik Aktuell Magazin 13 (1998), H. 7, S. 31-34
12. BASIC als Basis. CC-BASIC-LED-Display (14). In: Elektronik Aktuell Magazin 13 (1998), H. 8, S. 73-78
13. Zimmermann, Otto: Sternspektrographie in der Schule. In: Sterne und Weltraum 28 (1989), H. 11
14. Bedienungsanleitung C-Control/BASIC Steuercomputer. Conrad Electronic GmbH 1997. 59 S.
15. Bedienungsanleitung C-Control-Applicationboard. Conrad Electronic GmbH. 1997 15 S.
16. Bedienungsanleitung Sinus II. Baader Planetarium GmbH. 19 S.
17. Steuerschaltungen für Motoren. In: Tips & Tricks. Zu astronomischen Instrumenten Montierungen und Antrieben optischem Zubehör und zur allgemeinen Beobachtungstechnik. Baader Planetarium KG. S. 24 – 28.
18. L6204-Datasheet. SGS-Thomson Microelectronics 1994. 10 S.
19. M68HC05. Applications Guide. Motorola Inc. [3]1996. 352 S.
20. Sommer, N.: Anleitung. Blaze-Gitter-Spektroskop/Spektrograph. Baader Planetarium GmbH. 9 S.
21. Kodak Technical Pan Film. Technical Data. Eastman Kodak Company 1996. 12 S.
22. Kodak T-MAX Professional Films. Technical Data. Eastman Kodak Company 1997. 28 S.
23. Kodak TRI-X Pan and Kodak TRI-X Pan Professional Films. Eastman Kodak Company 1996. 12 S.
24. DV-16244. Anschlußbelegung. Conrad Electronic GmbH.

<u>Bilder:</u>

1. Kaler [4] S. 74
2. Koch [7] S. 243
3. EAM 7/98 [11] S 32