Abtei-Gymnasium Brauweiler

Entwicklung

eines

Spektralapparates

zur

Beobachtung und Analyse

von

Sternspektren

Besondere Lernleistung

in den Fächern

PHYSIK
INFORMATIK
von

ACHIM MESTER

Schuljahr 2002/03

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung ***2***

2. Theorie und Technik ***3***
2.1 Transmissionsgitter *3*
2.2 CCD – Charge-Coupled Device *5*
2.3 Schmidt-Cassegrain Teleskop *8*
2.4 Meade LX200 *8*

3. Die Computersteuerung ***10***
3.1 „Java“ *10*
3.2 „LXControl“ *11*

4. Praxis ***13***
4.1 Konzept *13*
4.2 Entwicklung des Spektralapparats *15*
4.3 Versuchsaufbau *17*
4.4 Beobachtungsstandorte und –bedingungen *18*
4.5 Beobachtung *19*
4.6 Aufnahmen *20*
4.7 Auswertung der Ergebnisse *22*
4.8 Fazit *24*

5. Schlussbemerkung ***25***

6. Quellennachweise ***26***

7. *Anhänge* ***28***
A: Fotodokumentation *28*
B: „LXControl“ Anleitung *29*
C: CD-Inhalt *31*

1. Einleitung

Die Spektroskopie ist in der Astronomie ein Thema an dem sich die Geister scheiden. Von vielen Amateurastronomen hört man Vorurteile, wie „hat doch nichts mit Astronomie zu tun“. Es gibt aber natürlich auch die Anderen, die die Faszination teilen oder zumindest nachvollziehen können.
Dieses Verhalten hat wohl seine Gründe. Spektroskopie bedeutet meist die Distanzierung von der intuitiven Faszination, die von den Himmelsgestirnen ausgeht.
Wenn man in einer klaren Nacht beim Anblick der Milchstraße in Träumen schwelgt, so geht diese Atmosphäre beim differenzierten Betrachten einzelner Spektren verloren. Im Gegensatz zur „normalen“ Himmelsbeobachtung bietet es sich nicht unbedingt an, spontan in den Himmel zu gucken und das Spektrum des einen oder anderen Objekts zu betrachten. Nach den ersten Versuche mit seinem Spektrographen will man ein bestimmtes Objekt ganz genau untersuchen.

Um in die ganz andere Faszination von Sternspektren zu erkennen, benötigt man wissenschaftliches Interesse. Erst wenn man ein Gefühl für die Verbindung zwischen Merkmalen eines Spektrum und den physikalischen und chemischen Prozessen auf einem so unbegreiflich weit entfernten Objekt – von dem wir nicht mehr als ein unaufgelöstes Beugungsscheibchen sehen – bekommt, ergreift einen diese Faszination.
Auf einmal geht von einem Stern, von denen es so viele zu geben scheint und die man schon so oft gesehen hat eine Individualität aus. Die einen sind alt und kalt, andere „gerade“ erst entstanden. Manche sind gar nicht einzelne Sterne, sondern zeigen in Ihren Spektren, dass es Doppelsternsysteme sind. Mit dem Dopplereffekt lässt sich dann sogar die Rotationsgeschwindigkeit bestimmen.

In dieser Arbeit soll diese Faszination durch ein besonders konzipiertes Spektroskop vermittelt werden. Mein Ziel ist es, einen Spektralapparat zu entwickeln, mit dem es zum einen für jedermann möglich ist, spontan innerhalb weniger Sekunden einen Stern, oder ein anderes Objekt zu finden und sich, sei es visuell oder photographisch, ein „Bild“ von ihm zu machen. Es soll dabei möglich sein, trotz (gerade mit) all der Technik, eben die oben beschriebene Atmosphäre aufrecht zu erhalten. Auf der anderen Seite soll aber auch eine möglichst professionelle Weiterführung dieser Analyse möglich sein.

2 Theorie und Technik

Um einen Spektrographen zu verstehen, bedarf es gewisser physikalischer Vorkenntnisse. Der Aufbau meines Spektralapparates besteht aus mehreren Komponenten, die ganz verschiedene Aufgaben übernehmen und ein sinnvolle Kombination ergeben sollen. Um die Wahl dieser Bausteine und deren Funktionsweise zu veranschaulichen, werden diese im Folgenden beschrieben und erklärt.

2.1 Transmissionsgitter

Um Licht wellenlängenabhängig zu trennen gibt es zwei physikalisch sehr verschiedene Methoden. Die eine, eher klassische Methode, ist die wellenlängenabhängige Brechung (Dispersion) des Lichts. Um dies zu erreichen, wird ein Prisma in den parallelen Strahlengang der zu beobachtenden Lichtquelle gesetzt. Kurzwelliges Licht wird vom Prisma stärker, langwelliges Licht schwächer gebrochen. Hinter dem Prisma ist daher das Spektrum des Lichtbündels zu sehen. Leider erfolgt diese Brechung nicht linear, d.h., dass gleiche Abstände im so gewonnenen Spektrum nicht gleichen Wellenlängenabständen entsprechen. Aus diesem Grund wird zum einen die Analyse der Spektren erschwert und zum anderen sind Spektrallinien sehr kurzer Wellenlängen im Spektrum nicht mehr trennbar. Je nach Verwendungszweck kann es auch von Bedeutung sein, dass das Glas, aus dem das Prisma besteht, Photonen bestimmter Wellenlängen, z.B. UV-Strahlung, absorbiert.

Die andere Möglichkeit, Licht wellenlängenabhängig zu zerlegen, ist Beugung am Gitter. Ein sehr feines Strichgitter, das durch periodische Anordnung sehr feiner Spalte das Licht „durchlässt“ (Transmissionsgitter) oder mit ebenso feinen Reflektoren das Licht „reflektiert“ (Reflexionsgitter), wird dazu in den Strahlengang parallelen Lichtes gesetzt. Da ich Transmissionsgitter verwendet habe, werde ich im Folgenden nur von solchen schreiben, die zu Grunde liegende Physik ist allerdings bei beiden Methoden dieselbe.

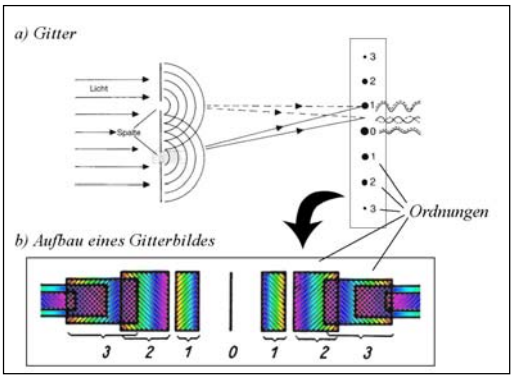


Abb. 2.1.1: Zerlegung von Licht durch ein optisches Gitter

Durch Beugung und Interferenz entsteht für jeden einzelnen Spalt eine Helligkeitskurve mit mehreren Ordnungen (s. Abb. 2.1.1), wobei die Intensität mit der Höhe der Ordnung abnimmt. Innerhalb dieser Ordnungen ist bei einem Strichgitter eine Feinstruktur zu erkennen. Sie besteht aus vielen, sehr feinen Nebenmaxima, die auf Interferenzeffekten der von den einzelnen Spalten gebeugten Lichtwellen beruht.
Auf diese Weise entsteht in jeder Ordnung eine Art „Stapel“ aus Nebenmaxima, eine für jede aufgelöste Wellenlänge. Die Ablenkung (φ) lässt sich für jede Wellenlänge genau berechnen.

$$\sin \varphi = \frac{z\lambda}{a} - \sin \alpha$$

φ = Ablenkungswinkel
α = Einfallswinkel (hier 0°)
z = Ordnung
λ = Wellenlänge
a = Gitterkonstante des Gitters

Bei der Beobachtung einer monochromatischen Lichtquelle würde „nur“ ein Strichmuster entstehen.
Der Nachteil bei der Verwendung eines Gitters zur Zerlegung des Lichtes besteht darin, das durch destruktive Interferenz und Verteilung des Lichtes auf mehrere Ordnungen im Vergleich zum Prisma viel Licht verloren geht. Um dem entgegenzuwirken, wurden sog. „Blaze“-Gitter entwickelt. Bei einem solchen Gitter sehen die Spalte wie kleine Prismen aus und lenken so den größten Teil des Lichts in einem bestimmten Winkel auf eine ausgesuchte Ordnung.
Wie man sich vorstellen kann, erfordert diese Technik ein kompliziertes und sehr präzises Herstellungsverfahren. Früher wurden Gitter durch Einritzen von sehr feinen Furchen mit einem Diamanten in ein Glas oder Metall hergestellt. Dies erforderte ein Höchstmaß an Präzision (z.B. bei der Führung des Diamanten, bei thermischen Veränderungen der Diamantspitze und des Mediums, uvm.), wobei sich Fehler nicht vermeiden lassen. Ein Beispiel für ein so hergestelltes Gitter ist das Rowland-Gitter[1].
Heutzutage sind die meisten Gitter „holographische“ Gitter. Mit der Entwicklung des LASER wurde es möglich, Hologramme herzustellen. Diese Hologramme lassen die Herstellung von „normalen“ Gittern sowie von Gittern mit speziellen Spaltenformen (Blaze, Echelette) oder das Einarbeiten eines Gitters in eine Linse und vieles mehr zu. Die so produzierten Gitter sind nicht nur kostengünstiger und somit für Amateurastronomen erschwinglich, sondern auch qualitativ hochwertiger.
Ein weiterer Begriff, der im Zusammenhang mit Beugungsgittern auftaucht ist das „Auflösungsvermögen“. Mit dem Auflösungsvermögen wird beschrieben, welche

Nebenmaxima verschiedener Wellenlängen noch deutlich voneinander trennbar sind. Je kleiner der Wellenlängenunterschied zwischen zwei Nebenmaxima ist, um so größer ist die spektrale Auflösung.
Diese spektrale Auflösung hängt von der Anzahl der interferierenden Wellenzüge (*N*) und von der beobachteten Ordnung des Gitters (*z*) ab.

$$A = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = zN$$

A = Auflösungsvermögen
λ = Wellenlänge
$\Delta\lambda$ = kleinster trennbarer Wellenlängenunterschied

Die mir zur Verfügung stehenden Gitter sind ein Blaze-Gitter der Firma Baader Planetarium und die Kopie eines Rowland-Gitters der Firma Leybold mit folgenden Eigenschaften:

	Baader - Blaze-Gitter	Leybold - Kopie eines Rowland-Gitter
Striche pro mm [mm^{-1}]	207	570
Gitterkonstante (*a*) [mm]	$4{,}8309 \times 10^{-3}$	$1{,}7544 \times 10^{-3}$
Ablenkung / Länge des Spektrums (480nm < λ < 680nm)	5,6929° - 8,0919° / 2,399°	15,8785° - 22,8051° / 6,9266°
optimierte Ordnung	erste	keine

2.2 CCD – Charge-Coupled Device

„CCD“ ist eine in der professionellen Astronomie schon länger bekannte und angewendete Technik, die seit einigen Jahren auch im Amateurbereich Akzeptanz gefunden hat und neuerdings in abgewandelter Form die Fotoindustrie erobert.
CCD steht für „Charge-Coupled Device”. Wie sich aus dem Namen ableiten lässt, hat das Prinzip im Wesentlichen etwas mit Ladung (charge) zu tun. Die Chips bestehen aus einem viereckigen Feld aus speziellen photosensitiven Pixeln. Diese Pixel haben folgende Struktur:

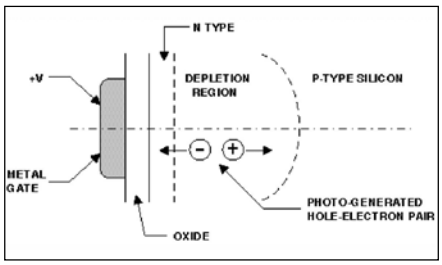


Abb. 2.2.1: Aufbau einer Photodiode

Sie bestehen hauptsächlich aus einer Elektrode („Gate“), einer Oxid-, einer „N-Type“- und einer „P-Type-Silizium-Siliziumdioxide“-Schicht. Ein „Licht“-Photon durchbricht das „Gate“ und die weiteren Schichten, bis es in der Si-SiO_2-Schicht ein Elektron-Loch Paar produziert (Photoelektrischer Effekt). Die negative Komponente dieses Paars wird von der positiven Elektrode in die „N-

[1] Henry Rowland (1848-1901) entwickelte ein für seine Zeit erstaunlich feines und genaues Gitter durch

Type“-Schicht gezogen und dort festgehalten, während die andere, positive Komponente entfernt wird. Durch eine bestimmte Änderung der an dem Chip anliegenden Spannung werden die Ladungen der belichteten Pixel einer horizontalen Reihe durch vertikale Verschiebung parallel in eine am Rand liegende Transportpixelreihe verschoben und dann durch horizontale Verschiebung Pixel für Pixel (seriell) in eine der Ladung entsprechende Spannung umgewandelt (s. Abb. 2.2.2). Dies geschieht, bis alle Ladungen auf diese Weise in ein elektrisches Signal umgewandelt worden sind.

Eine besondere Eigenschaft von CCDs ist, dass nicht nur die Photonen des sichtbaren Lichts den photoelektrischen Effekt in der Si-SiO_2-Schicht auslösen, sondern im Prinzip auch alle anderen Teilchen, die das Gate durchbrechen und in der Si-SiO_2-Schicht absorbiert werden. Solche Teilchen fliegen bei jeder Temperatur über dem absoluten Nullpunkt in unserer Umgebung herum (Anzahl Teilchen ~ T), was bedeutet, dass man bei der Arbeit mit diesen Geräten immer mit einer gewissen Fehlerquote rechnen muss. Dieser sogenannte Dunkelstrom („Dark Current“) erfordert die Kühlung von CCD-Kameras - vor allem, wenn diese sehr empfindlich und genau arbeiten müssen, wie es in der Astronomie aufgrund der z.T. sehr schwachen Lichtausbeute der Fall ist.

In derartigen Details unterscheiden sich die verschiedenen Geräte z.T. recht stark in Ihrem Aufbau und der Technik – je nachdem, für welche spezielle Aufgabe der Chip eingesetzt werden soll.

Den von mir verwendete Chip, einen KAF0400 von Kodak[2] zeichnen unter anderem folgende Eigenschaften aus:

- Front Illuminated Full-Frame Architecture
- 768(H) x 512(V) Photosensitive Pixels
- 9µm(H) x 9µm(V) Pixel Size
- 6.91mm(H) x 4.6mm(V) Photosensitive Area
- 8.4mm(H) x 5.5mm(V) Chip Size
- Single Readout Register
- 2 Phase Buried Channel Processing
- Low Dark Current (<10pA/cm^2 @ T=25°C)

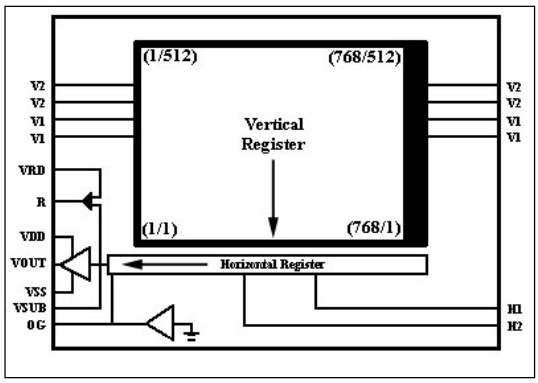


Abb.2.2.2: Aufbau des KAF0400

Die interessantesten Begriffe will ich kurz erklären. „*Front Illuminated*“ bedeutet, dass die photosensitive Si-SiO_2-Schicht durch das sog. „Gate“ vor bestimmten störenden Photonen geschützt wird und der Chip auch bei höheren Temperaturen (-20°C) schon gute Ergebnisse

mechanische Optimierung der Herstellungstechnik.

[2] Auszug aus der Kodak KAF0400L „Perfomance Spezifikation“ (Q.11)

liefert. Ein negativer, aber bei meiner Verwendung tolerierbarer Nebeneffekt dieser Technik ist, dass dieses Gitter aus Elektroden, ähnlich wie bei ein optisches Gitter, ein leichtes Interferenzmuster in der Empfindlichkeitskurve (QE) verursacht und Photonen abgeblockt werden (s. Abb. 2.2.3). „*Full Frame*“ besagt, dass der Chip komplett mit Ausleseregistern und Ausgabeverstärker versehen ist, so dass die von den Photonen hervorgerufene Ladung direkt als Spannung vom CCD-Chip abgegriffen werden kann.
Ein weiteres spezielles Merkmal wird mit „*2 Phase Buried Channel Processing*“ beschrieben und sagt etwas über den Aufbau des KAF400 Chips aus. Ein Pixel besteht hier immer aus zwei Elektroden, damit die Ladungen dann durch spezielle Umpolung der an den Elektroden anliegenden Spannung zur Seite transportiert werden können. Die Schicht in der die produzierten Ladungen gespeichert werden, ist im Inneren eines Pixels, also unter dem Gate „vergraben“ (eng. „buried“).

Die Quanteneffizienz (QE) des KAF0400 ist etwa 80mal so hoch, wie die eines hochempfindlichen Film.

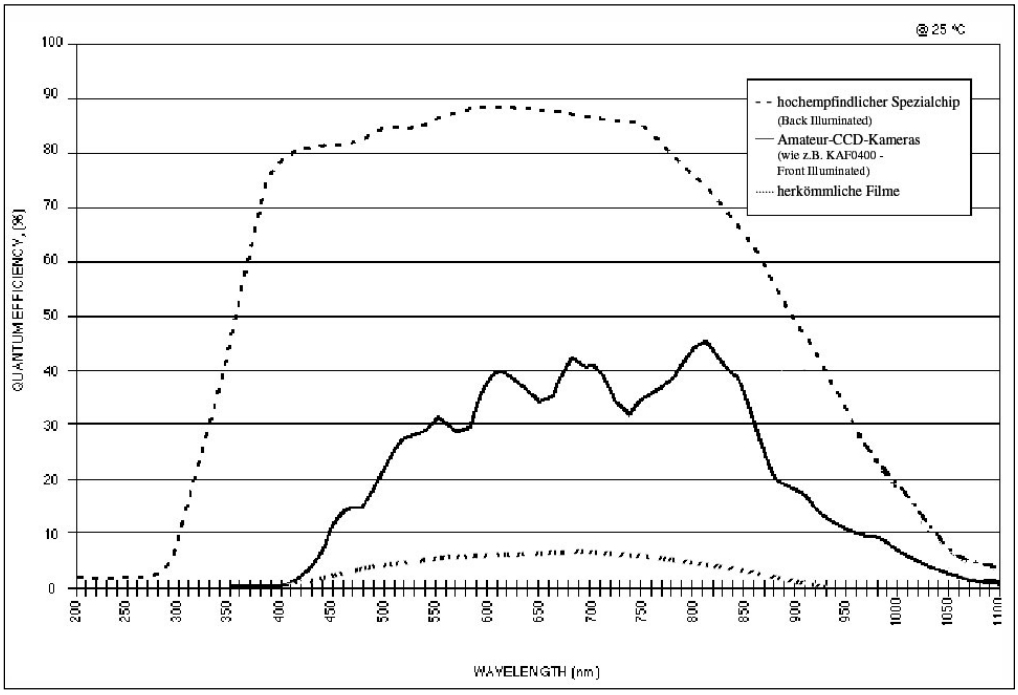


Abb. 2.2.3: Quanteneffizienz des Kodak KAF0400

2.3 Schmidt-Cassegrain Teleskop

Das Schmidt-Cassegrain Teleskop stellt die Verknüpfung zweier verschiedener Ideen dar. Ein Cassegrain Teleskop ist die Weiterentwicklung eines Newton-Teleskops. Statt wie bei der Newton-Bauweise wird das Licht hier nach dem Auftreffen auf den parabolisch geformten Hauptspiegel nicht um 90° zum Okular, sondern stattdessen durch einen konvexen Sekundärspiegel wieder zurück und durch ein Loch in der Mitte des Hauptspiegels an die Rückseite des Teleskops gelenkt.

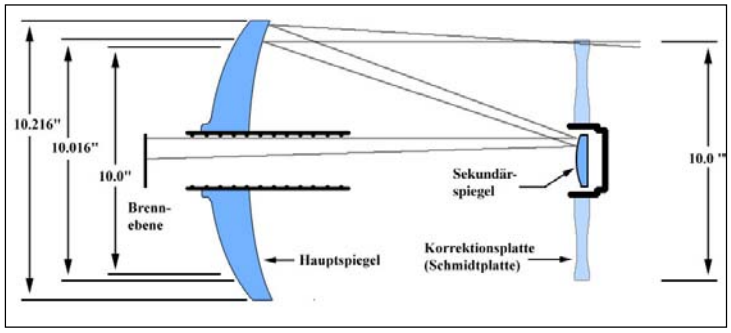


Abb 2.3.1: Schmidt Cassegrain System des 10“ Meade EMC Teleskops

Dadurch ist die Brennweite etwa doppelt so lang, wie bei einem Newton-Teleskop vergleichbaren Ausmaßes, was eine enorme Platzersparnis bedeutet. Außerdem ist es zur Benutzung vorteilhaft, die Fokalebene am hinteren, dem Boden bei Himmelsbeobachtungen näherliegenden Ende zu haben. Aus diesen Gründen sind die meisten großen Teleskope nach diesem Muster gebaut.

Die zweite zum Namen beitragende Komponente ist die sog. Schmidt-Platte (auch Korrektionsplatte genannt) nach dem estischen Optiker Bernard Schmidt (1879-1935). Die asphärische geformte Linse wird vor dem Hauptspiegel montiert. Auf diese Weise wird eine Bildfeldkrümmung, die bei einem Parabolspiegel mit kurzer Brennweite entsteht, korrigiert .

2.4 Meade LX200

Zu den etwas professionelleren Amateurteleskopen gibt es mittlerweile computergestützte Steuerungsgeräte. Diese werden mit den Achsen oder Motoren eines Teleskops verbunden

und können so jede Bewegung des Teleskops messen bzw. bei motorisierten Versionen auch durchführen.

Der von mir verwendete Mikrokontroller von Meade[3] trägt die Bezeichnung „LX200“ und verfügt über die erwähnte Motorisierung. Über eine Steuerbox ist die manuelle Ausrichtung des Teleskops in Rektaszension und Deklination[4] möglich. Alternativ kann man über diese Box auch ein Objekt aus der internen Datenbank auswählen und das Teleskop anweisen, sich auf das gewählte Objekt auszurichten.

Abb. 2.4.1: Meade LX200

Damit dies funktioniert, muss das Gerät auf bestimmte Art und Weise mit Daten gefüttert und aufgestellt werden. Zunächst werden dem Computer notwendige Daten zur Standortbestimmung angegeben (Ich gehe hier nur auf das Verfahren bei der bevorzugten parallaktischen Montierung ein). Wenn der Computer über die Daten zur geographischen Länge, Breite, der Uhrzeit, der Abweichung von der Greenwich-Zeit und der Höhe über NN verfügt, kann das Teleskop aufgebaut werden. Einmal montiert und auf den Himmelspol ausgerichtet, bedarf es lediglich der Bestätigung der Position eines Fixsterns. Dies funktioniert, da sich der Himmel bei parallaktischer Montierung, d.h. bei der Montierung des Teleskops parallel zur Drehachse der Erde, lediglich um eine Achse des Teleskops zu drehen scheint. So ausgerichtet verändern sich die Positionen der „normalen“, sog. Fixsterne, lediglich in der Rektaszensionsachse (Zeitachse) des Teleskops. Gibt man dem System nun die Position eines Fixsterns an, kann dieses die restlichen Positionen ableiten. Richtig ausgerichtet verfügt der Mikrokontroller über die Positionen von insgesamt 64359 Objekten verschiedener Kategorien und kann diese exakt ansteuern.

Das LX200 bietet außerdem die Möglichkeit über die RS232 (serielle) Schnittstelle eines Personalcomputers (PC) gesteuert zu werden. Mit dem mitgelieferten Befehlsatz kann man sämtliche Funktionen des LX200 auch über ein spezielles Kabel von einem handelsüblichen PC mit serieller Schnittstelle ausführen.

Eine Bauanleitung für ein solches Kabel, sowie ein einfacher Softwarecode zur Überprüfung der Funktionen sind im Handbuch des LX200 enthalten. Eine Software, wie ich sie für die

[3] Meade Instruments Corporation. USA

[4] Deklination (Dec) und Rektaszension (Rec) sind die Koordinatenachsen einer gedachten „Himmelskugel“. Analog zum Längen- und Breitengradsystem auf der Erde entspricht die Deklination der geografischen Breite und wird ebenfalls in Grad gemessen. Die Rektaszension entspricht der geografischen Länge und wird in Stunden, Minuten und Sekunden gemessen.

effektive Beobachtung von Sternen und Spektren benötige, konnte ich allerdings nirgendwo finden.

3 Die Computersteuerung

Für mein Konzept einer sinnvollen Teleskopsteuerungssoftware musste ich mit relativ geringem Zeitaufwand eine Software entwickeln, die folgende Anforderungen erfüllt:

- Zugriff auf die RS232-Schnittstelle zur Kommunikation mit dem Teleskop
- Netzwerkfähigkeit zur Steuerung aus weiterer Entfernung, z.B. über Intranet/Internet
- Einfache, übersichtliche und sichere Kontrolle des Teleskops
- Sinnvolle Funktionen zur Fokussierung und Belichtung von Sternspektren

Die einzige, mir – zumindest in Grundzügen- vertraute Programmiersprache, die mir für ein derartiges Projekt geeignet erscheint, ist „Java“ von Sun Microsystems. Um diese Entscheidung zu erläutern muss etwas über die Programmiersprache selbst gesagt werden.

3.1 „JAVA“

Java wurde ab 1990 von SUN Microsystems entwickelt, um Haushaltsgeräte steuern zu können. Die Sprache erlebte ihren Durchbruch, als sie 1995 von Netscape in deren Web-Browserkonzept übernommen wurde. Besondere Merkmale der Sprache sind der objektorientierte, hierarchische Aufbau und die Plattformunabhängigkeit.
Das bedeutet, dass bei dieser Programmiersprache der Quellcode für jede Plattform derselbe ist („Write once, run everywhere“). Lediglich das Basisprogramm „Java“ (SDK – „Software Development Kit“)[5] ist speziell für die jeweilige Plattform entwickelt worden. Diese „übersetzt“ (kompiliert) den Code in einen sog. „Binary-Code“ der dann vom jeweiligen Java-Interpreter ausgeführt werden kann.
Die Idee der Java-Entwickler war es, eine Programmiersprache zu entwickeln, die im Gegensatz zu anderen, objektorientierten Sprachen nicht übermäßig komplex, sondern auf schnelle und einfache Programmierung von sicherem, fehlerfreien Codes ausgelegt ist.

[5] Freeware von SUN Microsystems

Heute ist es mit Java möglich, mit vergleichsweise geringem Aufwand, interaktive Webanwendungen (Applets, JSP), netzwerkfähige graphische Applikationen, sowie Handy-Betriebssysteme und viele andere Dinge zu programmieren.
Für den Zugriff mit Java auf die serielle Schnittstelle benötigt man außer dem Basispaket die sogenannte „Communications-API“ („Application Programming Interface“), die ebenfalls als Freeware bei SUN aus dem Internet heruntergeladen werden kann und spezielle Funktionen zur Benutzung der Standardschnittstelle bereitstellt.

3.2 „LXControl“

Die Steuerungssoftware besteht aus mehreren Dateien, die jeweils verschiedene Aufgaben übernehmen:

- ***RS232Server.java***: Dieses Programm läuft auf dem Server, der in der Nähe des Teleskops installiert werden muss. Es übermittelt einerseits Signale vom Teleskop in ein Netzwerk und kann andererseits Signale, die von einem Client kommen, an das Teleskop weiterleiten.
- ***LXControl.java***: Das Programm stellt die Plattform für das Client-Programm dar. Je nach Bedarf kann es auf verschiedene Weise eine Kontrollplattform erstellen, die dann mit dem o.g. Server kommuniziert. In Normalfall startet es ein GUI („Graphical User Interface“).
- ***LXGUI.java***: Hier wird eine graphische Benutzeroberfläche initialisiert. Sie besteht grundsätzlich aus einem Eingabefeld für Befehle und einem Ausgabefeld, in dem die Befehle und eventuell Antworten oder für den Benutzer relevante Fehlermeldungen, ausgegeben werden. In der Standardeinstellung wird dieses Feld von „Protokoll.java“ in eine Protokolldatei geschrieben.

  Die wichtigste Funktion ist über das Menü „Server“ in der oberen Programmleiste zu finden. Hier kann man das Programm „LXClient“ veranlassen, die Verbindung zu einem Server her zu stellen bzw. zu beenden.

  Eine weiter Option ist die Visualisierung der momentanen Ausrichtung des Teleskops durch „LXVisualize.java“.

- ***LXClient.java***: Wie bereits erwähnt, öffnet dieses Programm eine Verbindung zum Server und stellt Methoden zur Übermittlung und Annahme von Daten über das Netzwerk zur Verfügung.
- ***Protokoll.java***: Dieses Paket kann wahlweise ein Protokoll über die gesendeten Befehle und Kommentare führen, die anhand eines Zeitstempels photographischen Aufnahmen zugeordnet werden und so deren Auswertung vereinfachen können. Das Protokoll wird in eine ASCII-codierte Datei mit der Bezeichnung „*DDMMYYYY*.p“ geschrieben.
- ***LXVisualize.java***: Mit Hilfe dieses Codes kann das Teleskop in Form einer 2D-Darstellung im GUI angezeigt werden. Der Sinn dieser Methode ist es, eine zusätzliche visuelle Kontrolle über das Teleskop zu habe. Störungen bei der Steuerung der Teleskopmotoren, die zur Beschädigung von Motoren oder Geräten führen könnten, sollen so schneller erkannt werden können.
- ***Functions.java***: Diese Datei stellt ein Sammlung von nützlichen LX200-Befehlen zur Verfügung, die zur einfachen Steuerung komplexerer Bewegungen, wie z.B. der sehr feinen und zeitlich begrenzten Bewegung während der Belichtung von Sternen dient.

Eine Anleitung (Installation/Bedienung) ist im Anhang B. Eine vollständige Dokumentation der Software befindet sich auf der CD.

4. Praxis

Im praktischen Teil dieser Arbeit sollen die gerade erklärten Elemente zu einem möglichst effektiven Gesamtpaket zusammengesetzt werden.
Um die Entwicklung meines Spektralapparates möglichst realistisch darzustellen, habe ich mich für die chronologische Beschreibung vom Konzept bis zum fertigen System entschieden.

4.1 Konzept

Für die Planung meines Spektralapparats war es wichtig, sich von vornherein Gedanken über die Konstruktion zu machen: Das System muss relativ kompakt sein, damit das Teleskop noch steuerbar ist. Außerdem soll das Gerät transportabel und daher einfach und schnell zu installieren sein.
In diesem Zusammenhang stellt die CCD-Kamera eine besondere Anforderung dar: Die Kamera ist mit 990g recht schwer und muss auf jedem Fall sicher installiert werden. Eine einfache Holzkonstruktion ist schwer am Teleskop zu befestigen und bot mir nicht die angemessene Sicherheit für die Kamera. Außerdem würde ein solcher Anbau die Bewegungsfreiheit des Teleskops zusätzlich einschränken.

Nach eingehender Untersuchung des Teleskops und seiner Befestigungsmöglichkeiten entschloss ich mich, das Licht hinter dem Teleskop zunächst um 90° abzulenken, es durch eine Holzkonstruktion mit dem eigentlichen Spektralapparat zu

Abb. 4.1.1: Grundaufbau des Versuchs

lenken und sodann noch einmal um 90° in die - auf einer für einen Fotoapparat vorgesehenen Piggyback-Montierung befestigten - CCD-Kamera abzubilden.
So befindet sich die Kamera so nah wie möglich am ursprünglichen Schwerpunkt des Teleskops und kann mit wenigen Gegengewichten austariert werden. Die Nachjustage dieses Schwerpunktes ist deshalb wichtig, weil die Motoren der Montierung einen ausgependelten Schwerpunkt erwarten und nicht auf dauerhafte Stabilisierung einer Hebelwirkung ausgelegt sind.
In der Position, in der sich jetzt mein Eigenbau (o.g. Holzkonstruktion) befindet, liegt er auf einem Prisma auf und kann zusätzlich am Teleskop gesichert werden. Die Sicherung besteht aus einer Leiste, die an der Montierung eines optionalen Suchers am Tubus des Teleskops eingeklemmt wird.
Dieser Spektralapparat stellt die größte Herausforderung des optischen Versuchsaufbaus dar. Mittelpunkt dieser Vorrichtung ist ein Transmissionsgitter. Dieses Gitter hat ganz bestimmte Anforderungen:
Zum einen muss das zu analysierende Lichtbündel unbedingt parallel auf das Gitter treffen und zum anderen sollte es dort senkrecht ankommen, damit die Ablenkung des Gitters einfach berechnet werden kann. Das abgelenkte Licht ist hinter dem Gitter weiterhin parallel ist. Um es abzubilden muss ein weiteres optisches Element das Licht konvergieren.

Da ich mir über die Wahl des Transmissionsgitters (Blaze, Rowland, Gitterkonstante) wegen fehlender Erfahrung nicht sicher war, nahm ich eine ungünstige Drehung des Spektralfadens[6] auf dem CCD-Chip in Kauf. Dadurch wurde die Apparatur flexibel im Umgang mit unterschiedlichen Ablenkungswinkeln bei verschiedenen Gittern. Der jeweilige Ablenkungswinkel wird von einem Keil mit dem entsprechenden Winkel ausgeglichen. Verwendet man nun ein anderes Gitter, mit einer anderen Ablenkung, muss lediglich dieser Keil verändert und der Apparat ein wenig gedreht werden.

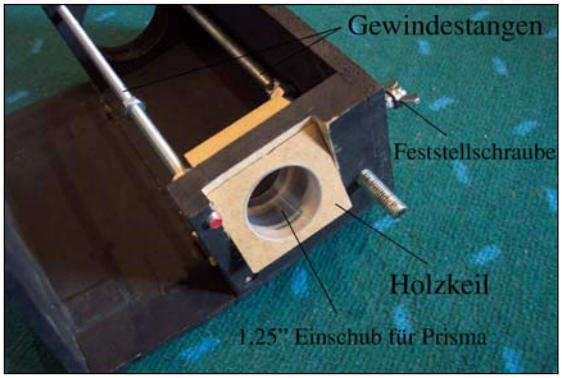


Abb. 4.1.2: „Holzkasten“. Vorrichtung zum flexiblen Einbau optischer Elemente

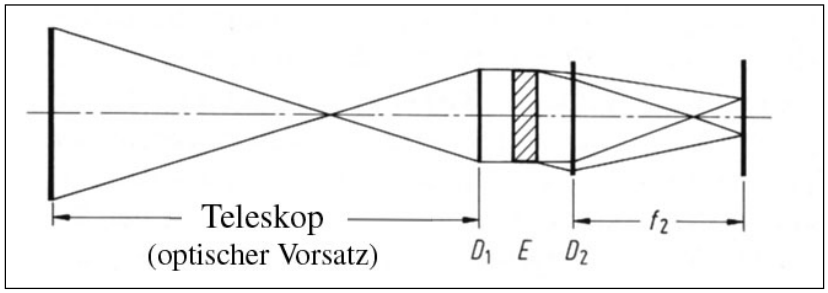
Die Positionen von Linsen stellen ebenfalls einen Risikofaktor bei der theoretischen Planung dar. Erfahrungsgemäß sind diese nicht rein rechnerisch exakt und endgültig zu bestimmen. Daher gibt es in meinem Holzkasten zwei Gewindestangen, die als Aufhängung dienen. So

kann man optischen Elemente - wie z.B. Linsen, oder Gitter - mit Muttern an verschiedenen Positionen, ähnlich wie bei einer optischen Bank, fixieren.

4.2 Entwicklung des Spektralapparats

Wie bereits erwähnt, spielt der „Holzkasten“ eine sehr wichtige Rolle. Es handelt sich dabei um den eigentlichen Spektralapparat. Hier soll das vom Teleskop eingefangene Licht eines Sterns in seine Bestandteile zerlegt werden.

Zunächst untersuchte ich die Eigenschaften des Transmissionsgitters mit einer optischen Bank meiner Schule. Als ich mir über den groben Aufbau im Klaren war, baute ich das 10“ Schmidt-Cassegrain Teleskop in meinem Zimmer auf und richtete es auf eine entfernte Straßenlaterne aus. Mit Linsen und Haltevorrichtungen aus der Physiksammlung konnte ich so die Charakteristika des Teleskops bzgl. dessen variabler Brennweite ausmessen und den groben Aufbau des Spektralapparats mit den mir zur Verfügung stehenden Linsen ausprobieren. Als dies soweit funktionierte, bestellte ich bei einem Optiker die genau passenden Linsen und rahmte diese so ein, dass sie in die Haltvorrichtung des „Holzkastens“ eingebaut werden konnten. Selbiges tat ich mit dem Gitter.



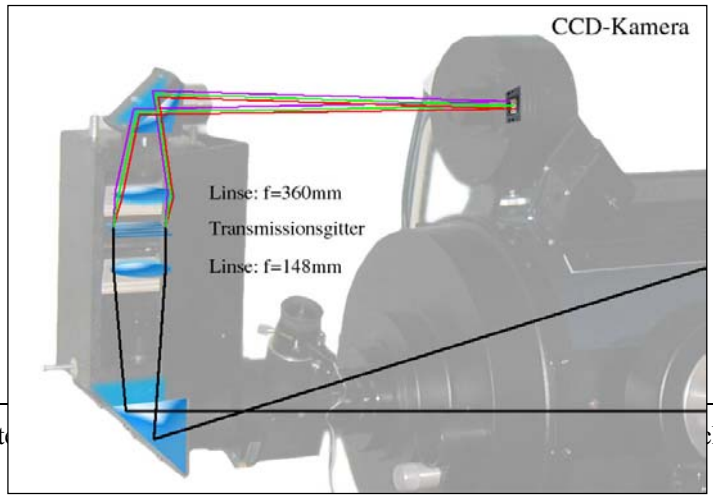
D_1 = optisches Element das den Strahlengang parallel macht (Linse/Spiegel)

E = dispergierendes Element (Prisma, Gitter)

D_2 = optisches Element, das das Spektrum auf den Schirm abbildet (Linse: $f = f_2$)

Abb. 4.2.1: Aufbau eines Spektrographen

Nach diesen Vorbereitungen gab es im Großen und Ganzen zwei „Entwicklungsstufen“ des Apparats:



[6]Da das Licht eines St chmales Spektrum (auch Spektralfaden)

Abb. 4.2.2:
Optischer Aufbau meines Spektrographen in der 1. Entwicklungsphase

Zwei Linsen sorgen dafür, dass das Licht zunächst parallelisiert und dann, nachdem es das Gitter durchquert hat, auf dem CCD-Chip abgebildet wird. Durch Veränderung der Position dieser Linsen konnte ich das Spektrum auf dem CCD-Chip fokussieren.

Bei Test-Aufnahmen von Sirius aus dem Garten (Köln) wurde mir leider klar, dass dieses System zu viele Fehlerquellen bot. Oft war der Apparat nach dem Auf- und Abbauen dejustiert und trotz der Gewindestangen war es sehr zeitaufwendig und nervenaufreibend, das System neu einzustellen. Außerdem stellte sich heraus, dass eine Vorrichtung, die ich zunächst zum Verschieben des Spektrums auf dem Chip der CCD-Kamera entworfen hatte, nicht sehr sinnvoll ist. Die große Vergrößerung des Linsensystems ist im Vergleich zur Ergonomie bei der Bedienung eine vernachlässigbarer Eigenschaft – zumal der CCD-Chip über ausreichende Auflösung verfügt, um gute Spektren des gesamten interessanten Wellenlängenbereichs auf einmal zu fotografieren.

Nach einigen Versuchen folgte daher eine zweite „Entwicklungsstufe“:

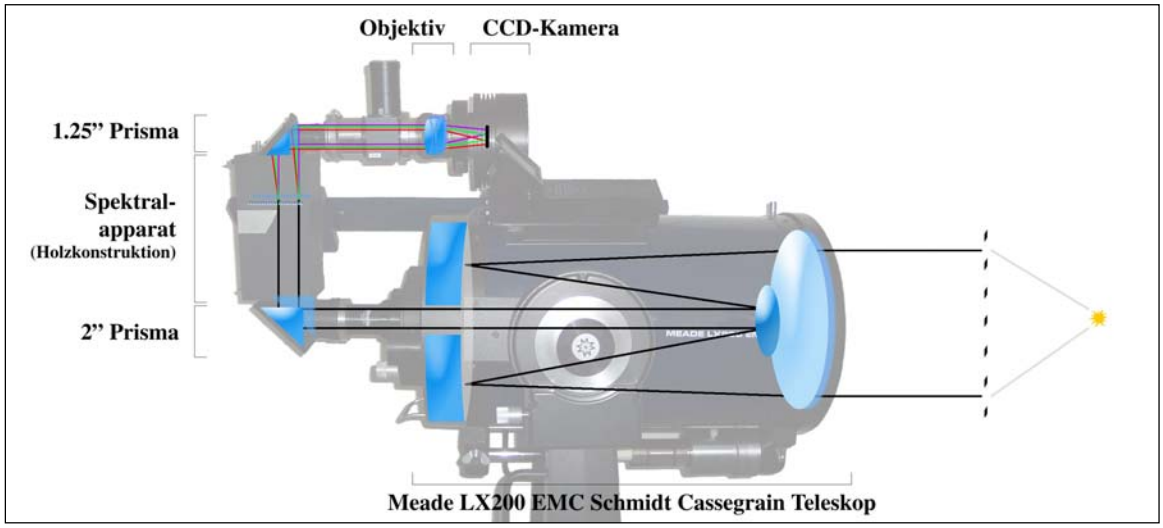


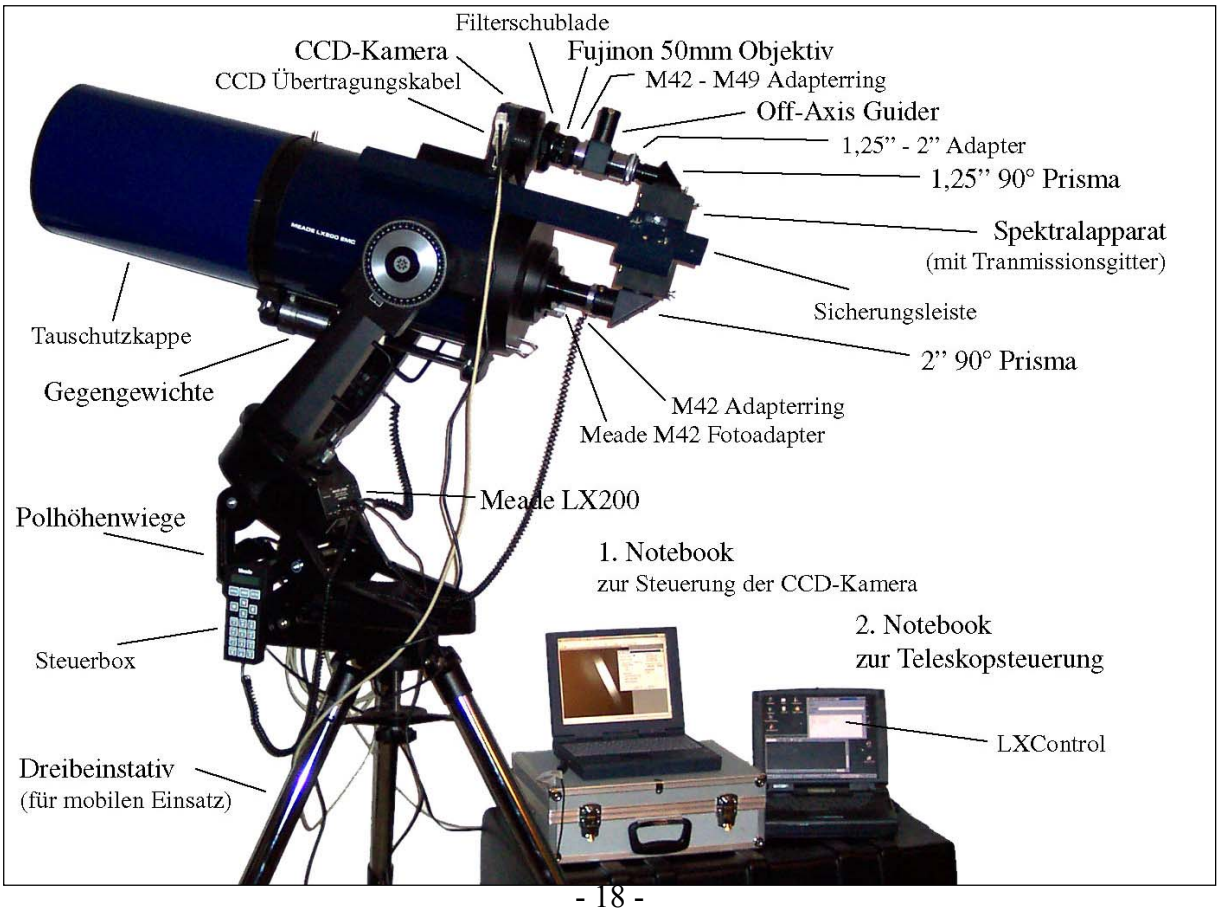
Abb. 4.2.3: Der optische Aufbau meines Spektrographen in der 2. Entwicklungsphase

Mit den aus vorangegangen Beobachtungen gewonnenen Erfahrungen entwickelte ich einen neuen optischen Aufbau. Die Konstruktion an sich, damit meine ich den Aufbau mit den zwei

Prismen, dem Holzkasten und der fest auf dem Teleskop befestigten CCD-Kamera hatte sich dagegen in der Praxis als stabil und sicher herausgestellt.
Zufällig zeigte sich, dass das Teleskop so eingestellt werden kann, dass das Licht bereits parallel aus dem Schmidt-Cassegrain System austritt. Daraus ergab sich, dass ich die erste Linse ersatzlos aus dem Apparat herausnehmen und so eine potenzielle Fehlerquelle entfernen konnte.
Die zweite Linse ersetzte ich durch ein handelsübliches Fotoobjektiv mit M42 Gewinde, welches ich direkt vor die Kamera einbaute (außerhalb der Holzkonstruktion). Das Objektiv ist von Fujinon (f = 50mm; Lichtstärke = 1:1,8). Es erlaubt die präzise Fokussierung des Bildes auf den CCD-Chip und verkleinert außerdem das Spektrum, so dass der interessante Wellenlängenbereich von ca. 450-680nm komplett auf dem Chip abgebildet wird.
Mit diesem Apparat funktionierte die Beobachtung auf Anhieb so, wie ich es mir vorgestellt hatte.

4.3 Versuchsaufbau

Der komplette Versuchsaufbau, der zur Aufnahme von Spektren benötigt wird sieht folgender Maßen aus:



4.4 Beobachtungsstandort und -bedingungen

Parallel zu dieser Arbeit habe ich mit meiner Mutter auf einem Grundstück in der Eifel im Herbst 2002 ein 1m x 1m x 1m großes Loch für ein Betonfundament ausgehoben. Darauf errichteten wir eine massive Betonsäule, in die drei Gewindestangen zur Befestigung einer Polhöhenwiege eingearbeitet sind.

Dieses Fundament ist sehr stabil und daher wenig anfällig für Schwingungen. Für die Beobachtung bedeutet dies, dass die Aufnahmen nicht, oder nur sehr selten, durch Wind oder Bodenbewegungen verwackeln. In Köln ist jede Aufnahme, während deren Belichtung ein Zug über die ca. 200m von unserem Grundstück entfernte Trasse gefahren ist, unbrauchbar.

Der Eifel-Standort bietet noch weitere wesentliche Vorteile:

Miescheid (Hellenthal) liegt ca. 50 km südlich von Aachen (nach GPS: 6,382 O / 50,428 N / 660m üNN). Die Entfernung von anderen Städten und Dörfern sorgt für eine sehr geringe Lichtverschmutzung durch z.B. Straßenbeleuchtung und SkyBeamer. Die Nächte sind daher absolut dunkel. Fehlende Industrie ergibt außerdem transparenteren Himmel als in Köln.

Abb. 4.5: Versuchsaufbau

Das Teleskop steht hier auf einem portablen Dreibeinstativ mit Polhöhenwiege. Der Winkel dieser Wiege muss auf den Breitengrad des Standorts eingestellt werden (Köln ca. 51°). Der untere Anbau stellt den eigentlichen Spektrographen dar. Ihr sämtlichen Adapterstücken und der Sicherungsleiste dar. Am Ende dieses optischen Ansatzes sitzt die CCD-Kamera, deren digitalen Daten über ein paralleles Übertragungskabel an den ersten PC gesendet werden. Der zweite PC ist mit dem LX200 System verbunden und kann zur Steuerung des Teleskops benutzt werden. Alternativ kann das Teleskop auch mit der mitgelieferten Handsteuerbox gesteuert werden (links).

Außerdem ist der ganze Horizont frei und dunkel, so dass nahezu das gesamte Firmament für

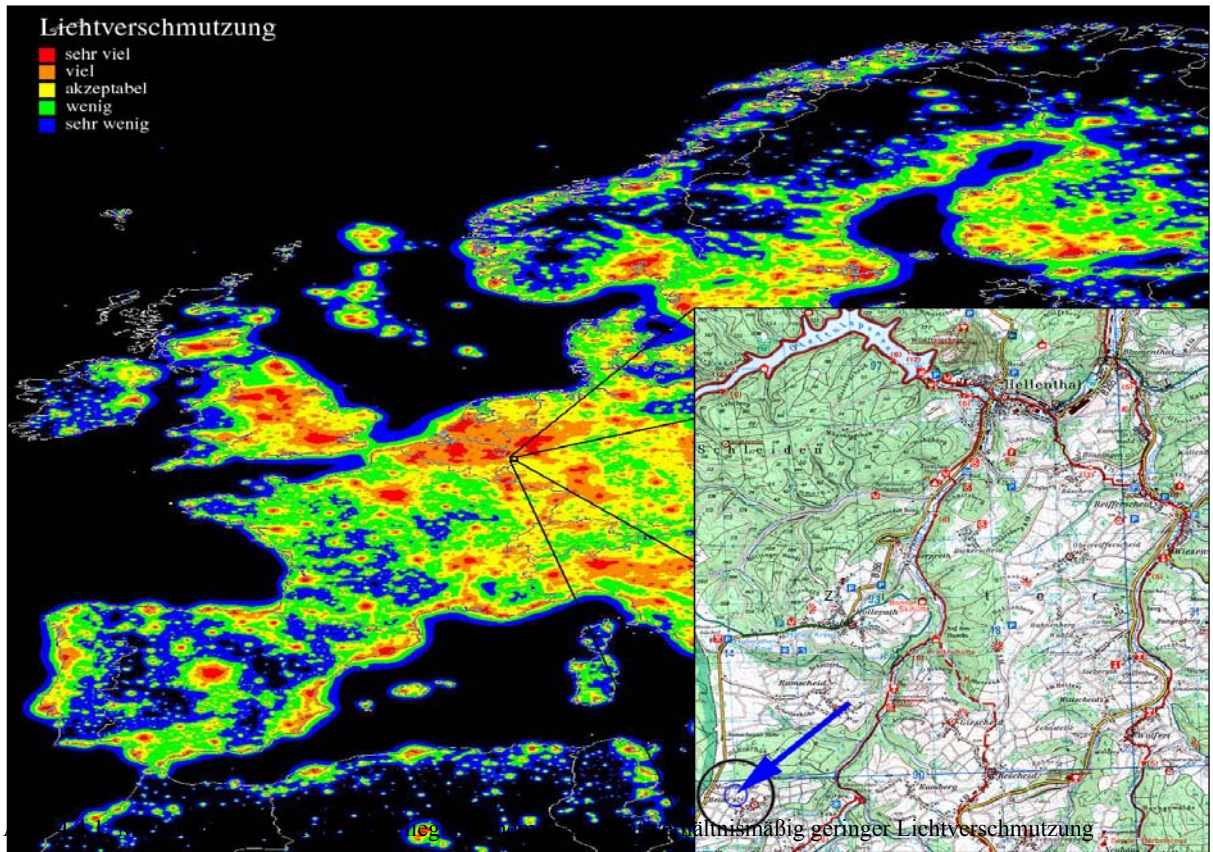


Abb. 4.6: Lichtverschmutzung [illegible] verhältnismäßig geringer Lichtverschmutzung

Beobachtungen genutzt werden kann.

4.5 Beobachtungen

Am 27.2.2003 war es dann soweit: Nachdem gegen Mitternacht der Himmel plötzlich aufklarte, hatte ich „first light“ von Alkaid (η UMa: Spektralklasse B3, Mag 1,86). Wie sich später herausstellte, hatte ich an diesem Abend einen ungünstigen Spektralbereich belichtet. Die Konstruktion hat sich aber ein weiteres Mal bewährt.

Abb. 4.5.1: „First Light“

Bei der zweiten Beobachtung, am 14. und 15.3 hat alles reibungslos geklappt. Mit dem Baader Blaze Gitter konnte ich in den beiden Nächten, während insgesamt neunstündiger Beobachtung, 14 Sterne (von jeder Spektralklasse je zwei Sterne) fotografieren. Bei dieser zweiten Beobachtung konnte ich auch ein geschütztes „Lager“ aufschlagen: Statt mit einem Gartenstuhl im Schnee konnte ich im beheizten Auto und mit zwei Notebooks (einem zur Teleskopsteuerung und einem zur Kamerabedienung) beobachten. Zwei PCs sind deshalb von Vorteil, weil das Auslesen der CCD-Kamera über die parallele Schnittstelle sehr viel Rechenzeit in Anspruch nimmt und dadurch Steuerungsbefehle, die vom selben PC verarbeitet werden sollen evtl. erst verzögert an das Teleskop gesendet werden. Auf diese Weise ist es möglich, den einen PC pausenlos kurzbelichtete und niedrig aufgelöste Aufnahmen machen zu lassen und währenddessen mit dem zweiten PC das Teleskop zu steuern, bis das Spektrum auf dem richtigen Bereich des Kameraausschnittes abgebildet wird. Für diese Feineinstellung des Bildausschnittes hat die Steuerungssoftware einen besonderen Befehl (m*dD*). Mit diesem Befehl kann das Teleskop um 100stel Grad (*D*) genau nach Norden (*d* = „n“) oder Süden (*d* = „s“) bewegt werden. Nach Westen (*d* = „w“) und Osten (*d* = „e“) wird das Teleskop um Bogensekunden (*D*) genau bewegt.

Abb. 4.5.2: Steuercomputer

Wenn alles richtig eingestellt ist, kann man die Kamera auf eine hohe Auflösung umstellen und länger belichten. Es hat sich dabei herausgestellt, dass es für die Analyse der Spektren sinnvoll ist, den schmalen Spektralfaden eines Sterns zu verbreitern. Dadurch wird das für

Sterne verschiedener Spektralklassen charakteristischen Absorptionslinienmuster direkt mit dem Auge erkennbar und so die Auswertung erleichtert (siehe Kapitel 4.6).

Um dies zu erreichen gibt es in meiner Steuerungssoftware einen speziellen Befehl (p*dT*). Für *T* wird die Dauer der Belichtung (+ einer gewissen Toleranz) eingesetzt. Wird der Befehl bestätigt („↵“) fährt das Teleskop mit doppelter Nachführgeschwindigkeit (sehr langsam) in die gewünschte Richtung *D* („n“ für Nord, „s“ für Süd). Auf diese Weise entsteht ein verbreitertes Spektrum (ähnlich wie bei einer Langzeitbelichtung von Autoscheinwerfern auf einer Autobahn).

Zur groben Einstellung von Objekten habe ich eine kommerzielle Astronomiesoftware (Guide 8.0[7]) verwendet. Mit dieser Software kann man auf einer grafischen Himmelsansicht einen Stern oder einen Nebel (oder jede beliebige andere Himmelskoordinate) auswählen und das Teleskop anweisen, sich darauf auszurichten.

4.6 Aufnahmen

Mit diesem Verfahren habe ich folgende Aufnahmen von Sternen verschiedener Spektralklassen gemacht:

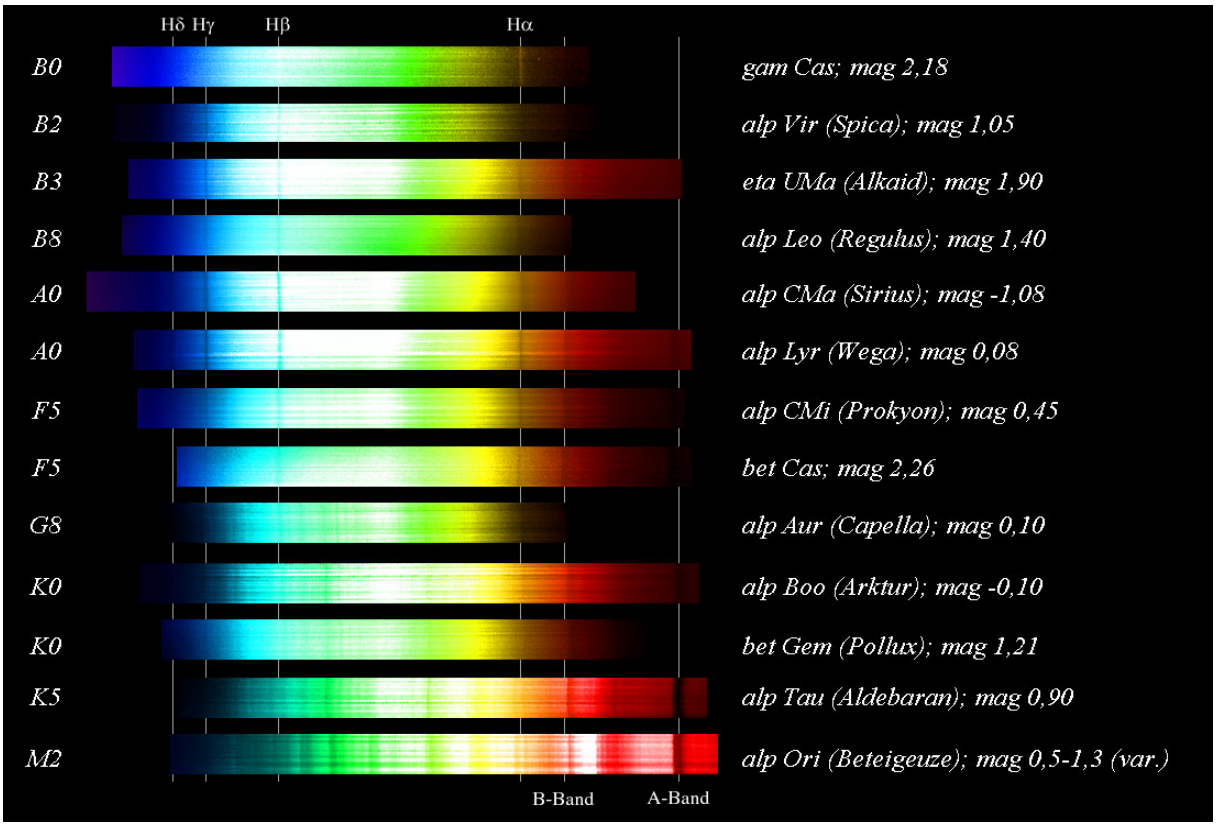


Abb. 4.6.1: Spektren der verschiedenen Spektralklassen

Die abgebildeten Spektren stellen einen Querschnitt durch die Harvard Spektraltypen dar. Deutlich ist die Intensitätsverschiebung vom blauen (B) in den roten (M) Spektralbereich zu erkennen. Parallel dazu sieht man die Wasserstoffbalmerlinien immer weniger im Spektrum, bis sie bei M2 nicht mehr zu sehen werden und durch mehrere breite Molekülbanden ersetzt werden. (siehe Tabelle 4.6.1)

[7] Guide 8.0 Software zur Steuerung von Teleskopen und zur Darstellung von Himmelskarten von Project Pluto

Schon 1890 wurden im Harvard-Observatorium erste Spektralkataloge erstellt. Nach jahrzehntelanger Weiterentwicklung wurden die zunächst alphabetisch sortierten Buchstaben, mit denen die verschieden Spektraltypen gekennzeichnet wurden, nach neuen wissenschaftlichen Kriterien umgeordnet. Die heute übliche Spektralordnung ist O-B-A-F-G-K-M. In dieser Kombination entspricht die Reihe den Temperaturen und dem Alter der Sterne. Ganz Junge Sterne sind am heißesten und strahlen vor allem im tiefblauen Spektralbereich (O). Bei Ihnen treten in der Hülle zum Teil Emissionen auf, weil die Temperatur des Sterns noch für die Ionisation von Atomen in der Sternhülle ausreicht. (Diesen Prozess kann man sich in etwa wie bei einer Leuchtstoffröhre vorstellen, bei dem Atome zum Leuchten angeregt werden – solche Lampen haben ebenfalls ein „Emissionsspektrum“.) Bei den „späteren“ Spektraltypen (K,M) treten die Absorptionen komplexerer Atome, die sich im Laufe der Zeit in einem Stern bilden, in den Vordergrund.

Spektral-klasse	Farbe	Atmosphären-temperatur (K)	Kriterien	Typische Vertreter	
O	blau	> 25.000	Linien hochionisierter Atome, vorallem He II, Si IV, N III, Balmerserie sehr schwach	ζ Pup 10 Lac	O 5 O 9
B	blau	11.000 – 25.000	Zwischen B 0 und B 5 verschwindet He II, He I wird stärker und verschwindet bei B 9. Außerdem Linien von Si II, Si III, O II, Mg II, Balmerserie von O nach A zunehmend	α Vir (Spica) β Ori (Rigel)	B 1 B 8
A	blau	7.500 – 11.000	Maximum der Balmerserie bei A 2, He I fehlt, Linien einfach ionisierter Elemente wie Mg II, Si II, Fe II, Ti II, Ca II etc. (Maximum bei A 5), Linien neutraler Elemente schwach	α Lyr (Wega) α CMa (Sirius)	A 0 A 1
F	blau / weiß	6.000 – 7.500	Balmerserie abnehmend, Linien ionisierter und neutraler Metalle etwa gleich stark, Ca II stark	α Car (Canopus) α CMi (Prokyon)	F 0 F 5
G	weiß / gelb	5.000 – 6.000	Balmerserie weiter abnehmend, Ca II sehr stark, Linien neutraler Metalle sehr stark, erstes Auftreten von CH-Banden	α Aur (Capella) Sonne	G 0 G 2
K	orange / rot	3.500 – 5.000	Linien neutraler Metalle (vor allem mit geringer Anregungsenergie) sehr stark, CN- und CH-Banden, ab K 5 TiO-Banden, Balmerserie sehr schwach	α Boo (Arktur) α Tau (Aldebaran)	K 2 K5
M	rot	< 3.500	TiO-Banden sehr stark, ebenso Linien neutraler Metalle mit geringer Anregungsenergie, z.B. Ca I	α Sco (Antares) α Ori (Beteigeuze)	M 1 M2

Tabelle 4.6.1:
Moderne Harvard Spektralklassenunterteilung mit den jeweiligen Charakteristika und Beispielobjekten.

4.7 Auswertung der Ergebnisse

Die photographischen Spektraldaten aus den Beobachtungen verschiedener Objekte müssen zur genauen Untersuchung in mehreren Schritten aufbereitet werden. Zunächst gilt es, die Dispersionscharakteristik des Gitters herauszufinden, um die Spektren nach der Wellenlänge kalibrieren zu können. Dazu verwendete ich das Spektrum eines Sterns der Spektralklasse A0 (Wega). In diesem Spektrum sind die Linien der Balmerserie (Wasserstoff) besonders gut ausgeprägt und können leicht identifiziert werden. Erstellt man ein Diagramm mit den Pixelpositionen dieser Absorptionen aus dem Rohspektrum auf der Abszisse und den – aus Messungen bekannten – dazugehörigen Wellenlängen auf der Ordinate und verbindet die Punkte durch ein Polynom 3. Grades, so erhält man die Dispersionsfunktion des Gitters.

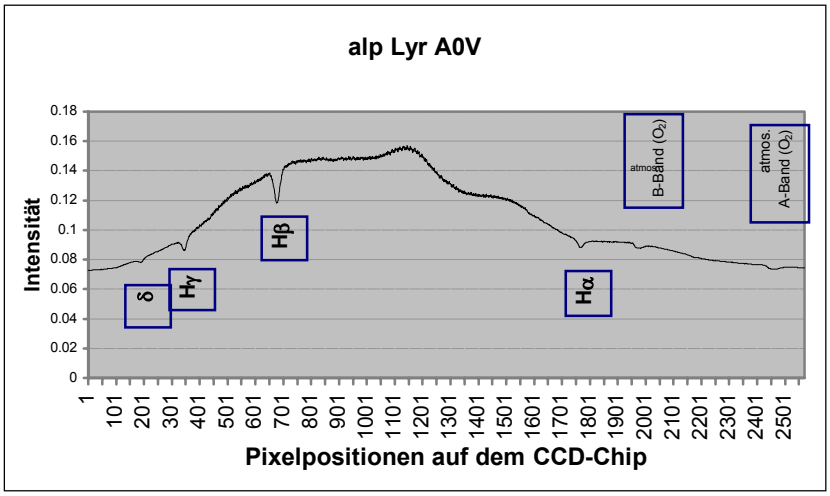


Diagramm 4.7.1: Rohspektrum von Wega (α Lyr)

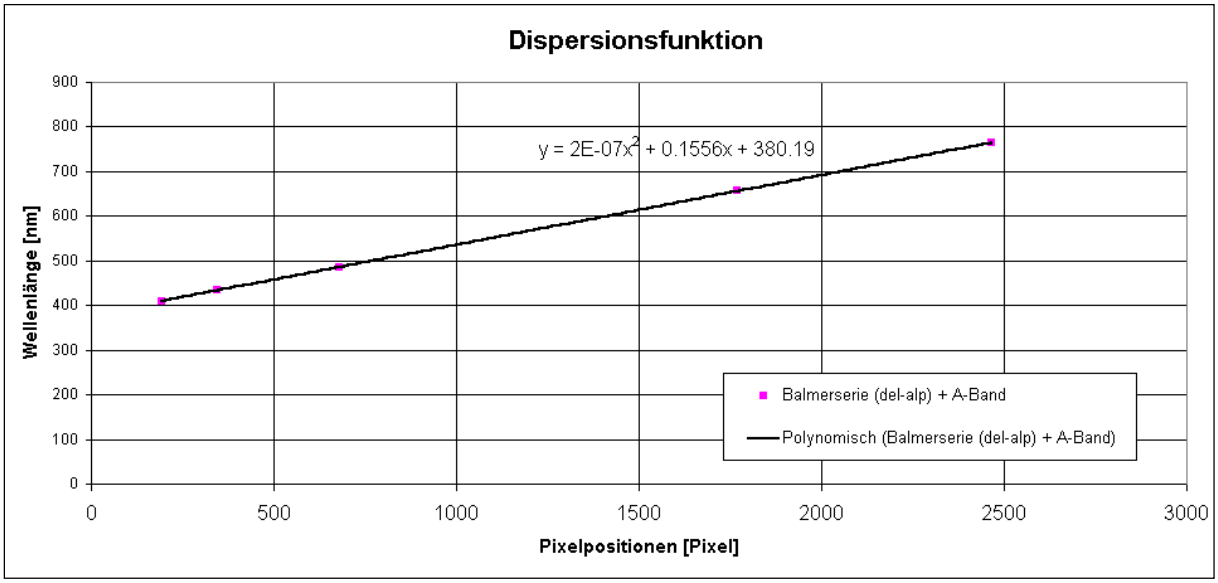


Diagramm 4.7.2: Dispersionsfunktion des Baader-Blaze-Gitters
Die berechnete Funktion (d.h. die Dispersion des Gitters) ist typischer Weise nahezu linear.

Mit dieser Funktion können nun alle Spektren, die mit dem gleichen Apparat aufgenommen wurden, nach der Wellenlänge geeicht werden.

Die Spektren zeigen außer den benannten Absorptionen, die in der Hülle des Sterns entstehen noch weitere Aus- und Einbrüche, sowie Unregelmäßigkeiten in der Steigung. Diese Unregelmäßigkeiten rühren größtenteils von der wellenlängenabhängigen Empfindlichkeit des

CCD-Chips (s. Abb. 2.2.3) und Absorptionen in der Gashülle der Erde her. Um dieses sog. Pseudo-Kontinuum aus dem Spektrum zu entfernen, habe ich eine spezielle Software[8] benutzt. Die Software ermöglicht es, ein Pseudo-Kontinuum in einem Spektrum zu markieren und diese „Fehler“ zu subtrahieren. Man erhält ein Spektrum, das je nach Qualität der Normierung, möglichst nur noch die Charakteristik des beobachteten Objekts enthält.

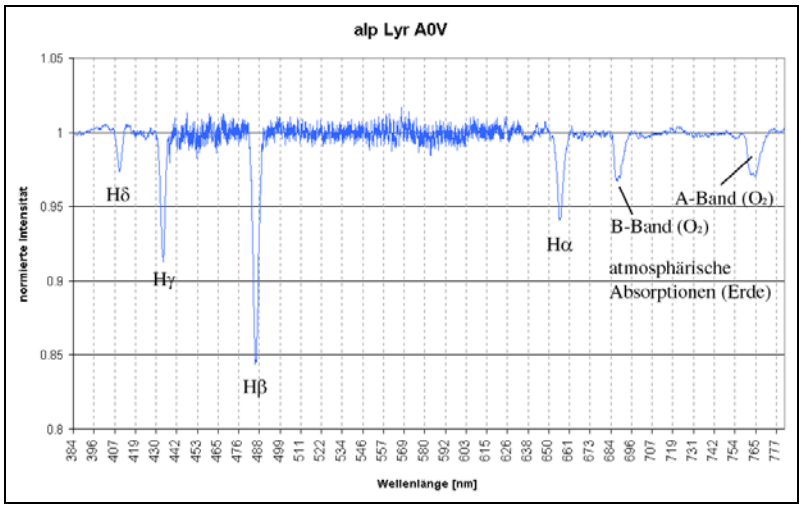


Diagramm 4.7.3:
Wega (α Lyr)**:**

Spektralklasse: A0V
rel. Helligkeit: 0,08 mag.
abs. Helligkeit: ca. 0,58 mag.
Entfernung: 25,3 Lj.

Aufnahmedaten:
Ort: Miescheid
Datum: 15.3.2003
Uhrzeit: 01:43 Uhr

Das Spektrum von Wega, das ich auch zur Kalibrierung aller anderen Spektren verwendet habe (Diagramm 4.7.1) zeigt deutlich vier Minima, die durch Absorptionen des Wasserstoff in der Hülle des Sterns entstehen. Wasserstoffabsorptionen treten dort bei sehr jungen, blauen Sternen auf, die sich gerade soweit abgekühlt haben, dass sich einfache Atome bilden können. Mit der Zeit kühlen die Sterne weiter ab und es entstehen immer komplexere Atome bis hin zu Molekülen (s. Tab. 4.6.1).

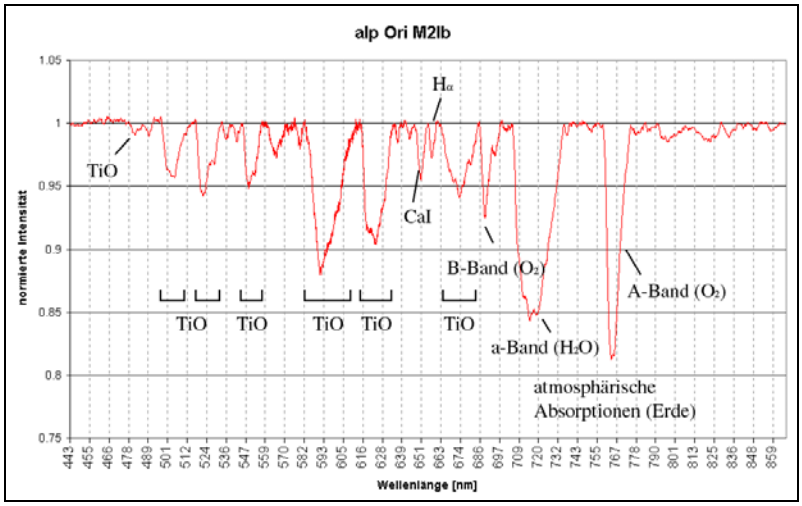


Diagramm 4.7.4:
Beteigeuze (α Ori)**:**

Spektralklasse: M2Ib
rel. Helligkeit: 0,57 mag.
abs. Helligkeit: ca. –5,14 mag.
Entfernung: ca. 430 Lj.

Aufnahmedaten:
Ort: Miescheid
Datum: 14.3.2003
Uhrzeit: 22:44 Uhr

Beteigeuze, der so alt ist, dass man davon ausgeht, dass er schon nicht mehr existiert und jeden Tag seine letzten Lichtstrahlen auf der Erde eintreffen könnten, ist ein Beispiel für einen extrem alten und daher roten und kalten Stern. Hier finden sich viele breite

[8] MK32 von R. O. Gray. Copyright 1993-96 v3.12

Absorptionsbanden des Titan-Oxid (TiO). Bei diesen Erscheinungen spricht man nicht mehr von Linien, sondern von Banden, da sie auf Grund der Größe dieser Moleküle z.T. sehr breit sind.

4.8 Fazit

Die soeben dargestellten spektralen Ergebnisse zeigen Detailreiche und Qualität, die für Untersuchungen über die genaue Klassifizierung hinaus ausreichen. Im Spektrum von Beteigeuze, bei dem sehr viele dichtgestaffelte Absorptionen auftreten, lassen sich Spektrallinien im Abstand von weniger als einem Nanometer trennen. Mit einem anderem Gitter, wie etwa dem Rowlandgitter, das über ein deutlich größeres theoretisches Auflösungsvermögen verfügt, lässt sich der Apparat je nach Bedarf weiter sensibilisieren.

Der gesamte Spektralapparat besteht aus mehreren Einzelteilen (siehe Abb. 4.3.1). Diese Eigenschaft ermöglicht es, den Apparat zum Transport in seine Einzelteile zu zerlegen.

Abb. 4.8.1:
Foto des transportfertigen Spektralansatzes

Die Installation des Spektralansatzes ist trotzdem einfach und schnell möglich. Dabei sorgt die Sicherungsleiste für eine grobe Ausrichtung der Apparatur, so dass die optische und mechanische Justage des Gesamtaufbaus sehr schnell gelingt. Fertig aufgebaut ist es auch durch heftigere Bewegungen nicht möglich, das Gerät unabsichtlich zu dejustieren.
Die Handhabung des Apparates ist sehr sicher und nach kurzer Einarbeitungsphase in die Software für jedermann möglich. Im Schnitt brauchte ich nachher ca. 2 Minuten, um ein beliebiges Objekt mit dem Programm „Guide“ grob anzusteuern und mit „LXControl“ genau einzustellen.

5 Schlussbemerkung

Im Verlauf dieses Projektes kam es immer wieder zu kleineren und größeren Problemen. Letztlich ist es mir aber gelungen einen leistungsfähigen, bedienerfreundlichen und flexiblen Spektrographen zu entwickeln.
Mit entsprechenden Adaptern kann das System auch mit anderen Teleskopen benutzt werden. Außerdem ist es – wie schon erwähnt – relativ einfach möglich, ein anderes, vielleicht genaueres, Transmissionsgitter für den Versuch zu verwenden.
In der von mir verwendeten Version ist ein Off-Axis Guider integriert, auf den ich noch gar nicht eingegangen bin, weil er für den beschriebene Versuch nicht benötigt wurde. Mit diesem ist es möglich, während der Aufnahme von Spektren, diese visuell oder über eine Webcam zu beobachten.
Meine Software und eine spezielle CCD-Software ermöglicht es, Beobachtungen über ein Netzwerk, wie z.B. das Internet, durchzuführen. Schließt man eine solche Webcam an, könnte man die Beobachtungen über das Internet in Echtzeit verfolgen. In diesem Zusammenhang wäre es auch sinnvoll, die von mir programmierte Software um eine Objektbibliothek zu erweitern. Auf diese Weise könnte man in meiner Software ein Objekt auswählen und das Teleskop darauf ausrichten ohne auf weitere Software zurückgreifen zu müssen.
Ein weiterer geplanter Ausbau ist die Errichtung einer Sternwarte in Miescheid. Über die Säule soll eine Holzhütte mit Rolldach gebaut werden. Diese gestattet den ständigen, festen Einbau des Teleskops, so dass man sich den zeitaufwändige und nicht alleine zu bewältigenden Aufbau des Teleskops, sowie der Kalibrierung des LX200 erspart. Theoretisch wäre es dann möglich, sofern man das Dach der Sternwarte von Köln aus öffnen kann, die gesamten Beobachtungen von Köln aus über das Internet zu steuern.

6 Quellennachweise

1. James B. Kaler, Sterne und ihre Spektren – Astronomische Signale aus Licht, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg – Berlin – Oxford, 1994

2. Günter Dietmar Roth, Handbuch für Sternfreunde – Wegweiser für die praktische astronomische Arbeit, Springer-Verlag Berlin – Heidelberg – New York – London – Paris – Tokyo HongKong, 1989[4]

3. Bergmann Schaefer, Lehrbuch der Experimentalphysik Band III Optik, Walter de Gruyter Berlin – New York 1978[7]

4. Lipson Lipson Tannhauser, Optik, Springer Verlag Berlin – Heidelberg – New York – Barcelona – Budapest – Hongkong – London – Mailand – Paris – Santa Clara – Singapur – Tokio, 1997

5. Höfling, Physik Band II, Teil 2; Dümmler Verlag; 13. Auflage

6. Bernd Mirow, Physik-Formeln Sek. II, Dümmler Verlag, 10. Auflage

7. N. Sommer, Anleitung Blaze-Gitter-Spektroskop/Spektrograph (Informationsmaterial zum Baader Blaze Gitter von Baader Planetarium)

8. Otto Zimmermann, Sternspektroskopie in der Schule aus Sterne und Weltraum, 11/89

9. Instruction Manual 10“ LX200 Schmidt Cassegrain Telescope, Meade Instruments Corporation, 1994

10. CCD Camera Operating Manual – for the Model ST-7 and ST-8, Santa Barbara Instruments Group, 1994

11. KAF-0400L - Full-Frame CCD Image Sensor Monochrome with Anti-Blooming, Perfomance Specification, Eastman Kodak Company – Microelectronics Technology Division Rochester, New York, 1994

12. An Introduction to Scientific Imaging Charge-Coupled Devices – SITe CCD Technology for Superior Performance, Scientific Imaging Technologies, Inc., 1994

13. Chris Plicht, Schmidt, Bernard (1879-1935), www.plicht.de/chris/bio01.htm, 10.4.2003

Bildverzeichnis

Abb. 2.1.1a): vgl. James B. Kaler, Sterne und ihre Spektren, a.a.O., S.74

Abb. 2.1.1b): vgl. Bergmann Schaefer, Lehrbuch der Experimentalphysik Band III, a.a.O., S.379

Abb. 2.2.1: vgl. SITe Inc., An Introduction to Scientific Imaging Charge-Coupled Devices, a.a.O., S.4

Abb. 2.2.2: vgl. Eastman Kodak Company, KAF0400L – Perfomance Spezification, a.a.O.,S.3

Abb. 2.2.3: vgl. SITe Inc., An Introduction to Scientific Imaging Charge-Coupled Devices, a.a.O., S.12

Abb. 2.3.1: vgl. Meade Instruments Corporation, Instruction Manual 10" LX200 Schmidt-Cassegrain Telescope, a.a.O., S. 3

Abb. 4.2.1: vgl. G.D.Roth, Handbuch für Sternfreunde, a.a.O., S. 357

Abb. 4.4.1: vgl. www.robertvincent.freeserve.co.uk/images/lightpollutioneurope.jpg, 8.4.2003 und Landesvermessungsamt NRW, Freizeitkarte NRW 26, 2001[2]

Tab. 4.6.1: vgl. G.D.Roth, Handbuch für Sternfreunde, a.a.O., S. 347

7 Anhänge

Anhang A: Fotodokumentation

Testaufbau des gesamten Versuchs im Wohnzimmer in Köln

Aushub des 1m^3 großen Lochs für das Teleskopfundament in Miescheid

Foto des Gesamtsystems während einer der nächtlichen Beobachtungen - auf der fertigen Betonsäule in Miescheid montiert.

Anhang B: „LXControl“ Anleitung

Um die LXControl Software verwenden zu können, wird das „J2SDK“ und die „Communications API“ benötigt. Beides ist Freeware und befindet sich auf der CD. Beide Programmpakete beinhalten Installationsanweisungen. Das „J2SDK“ muss sowohl auf dem Server als auch auf dem Client installiert werden. Die „Communications API“ wird nur von dem Server benötigt, da nur dieser direkt mit dem Teleskop, über die serielle Schnittstelle, kommuniziert.

Mein LXControl-Programm befindet sich in gezippter Form ebenfalls auf der CD. Dieses muss nach der Installation der Java Software in ein spezielles Verzeichnis, in dem Java nach Programmdateien sucht, entpackt werden. Im einfachsten Fall ist dies das Unterverzeichnis „bin“ in dem Ordner, in den das J2SDK installiert wurde.

Die Serversoftware muss in DOS oder in der Windows-Eingabeaufforderung zunächst mit dem Befehl „`javac RS232Server.java`“ kompiliert (nur beim ersten Aufruf nötig) und darauf mit „`java RS232Server`“ gestartet werden. Der Server wartet nun auf einem bestimmten Port auf einen Client. Sobald ein solcher Client (LXControl) gestartet wird, verbindet der Server diesen mit dem Teleskop an der seriellen Schnittstelle. Um einen bestimmten Port oder eine bestimmte Schnittstelle festzulegen, kann die Software mit den Parametern „`-sp`“ (Server-Port) und „`-cp`“ (COM-Port) aufgerufen werden.
Beispiel:

```
java RS232Server -sp 6666 -cp COM2
```

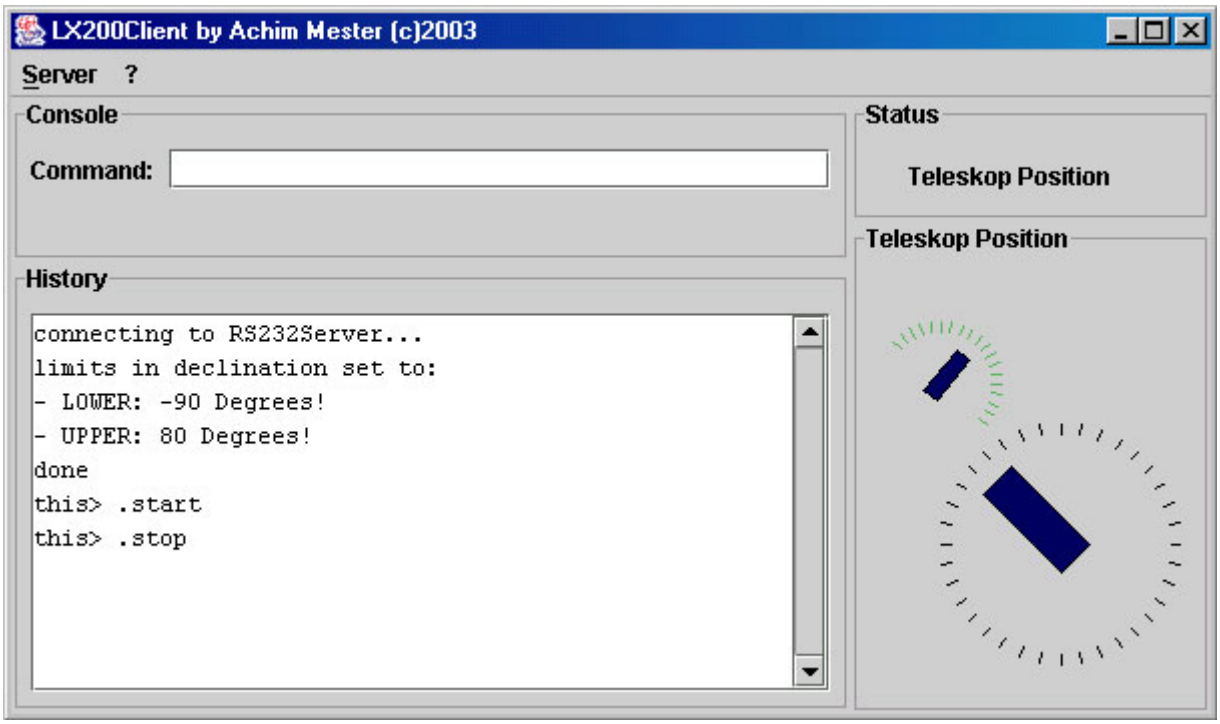
(Standardmäßig sind der Port 7000 und die Schnittstelle COM1 ausgewählt.)

Analog dazu muss auf dem Client eine Windows-Eingabeaufforderung gestartet werden und das Programm ebenfalls beim ersten Aufruf zunächst kompiliert werden. Dies wird mit dem Befehl „`javac LXControl.java`“ erledigt. Danach wird der graphische Client mit dem Befehl „`java LXControl`“ gestartet. Mit dem Parameter „+v“ kann man das Programm mit der Visualisierung starten.
Beispiel:

```
java LXControl +v
```

(Standardmäßig ist die Visualisierung deaktiviert.)

Folgendes Fenster erscheint auf dem Bildschirm:



Erscheinungsbild des LXControl Bildschirm:
Im Menü „Server“ kann der Client mit einem Server verbunden bzw. eine Verbindung wieder getrennt werden.
Im Textfeld oben links werden die Befehle eingegeben, darunter informiert ein Kontrollbildschirm (History) über bereits eingegebene Befehle und gegebenenfalls über Reaktionen des Server oder des Teleskops.
Der rechte Teil des Bildschirms wird bei aktivierter Visualisierung angezeigt. In den beiden Teilkreisen informieren die dunkelblauen Rechtecke über die Position des Teleskops in Deklination (grün) und Rektaszension (schwarz). Mit „`.start`“ wird die Animation gestartet und mit „`.stop`“ wird sie wieder angehalten.

Anhang C: CD-Inhalt

Auf der CD befinden sich einige der von mir verwendeten Quellen, sowie die Arbeit selbst und alle Spektren und Fotos, die ich im Laufe des Projektes aufgenommen habe. Außerdem befindet sich dort meine „LXControl“-Software, sowie alle dazu benötigten Programme und die Java-Dokumentation (kurz: „doc“).

Name	Größe	Dateityp	Geändert	Berechtigungen
arbeit	8,0 KB	Ordner	25.04.2003 20:51	rwxr-xr-x
fotos	8,0 KB	Ordner	25.04.2003 20:50	rwxr-xr-x
internet	8,0 KB	Ordner	25.04.2003 20:51	rwxr-xr-x
java	8,0 KB	Ordner	25.04.2003 23:20	rwxr-xr-x
doc	8,0 KB	Ordner	25.04.2003 20:52	rwxr-xr-x
LXControl1.1	8,0 KB	Ordner	25.04.2003 20:52	rwxr-xr-x
RS232Server	8,0 KB	Ordner	25.04.2003 20:52	rwxr-xr-x
programme	8,0 KB	Ordner	25.04.2003 23:21	rwxr-xr-x
ccdworks	8,0 KB	Ordner	26.04.2003 07:37	rwxr-xr-x
java	8,0 KB	Ordner	25.04.2003 23:21	rwxr-xr-x
lx200 control	8,0 KB	Ordner	25.04.2003 20:53	rwxr-xr-x
mk32	8,0 KB	Ordner	25.04.2003 23:21	rwxr-xr-x
spec	8,0 KB	Ordner	26.04.2003 07:37	rwxr-xr-x
readme.txt	1,3 KB	Einfacher Text	26.04.2003 07:44	rwxr-xr-x
refspek	8,0 KB	Ordner	25.04.2003 20:53	rwxr-xr-x
spektren	8,0 KB	Ordner	25.04.2003 20:49	r-xr-xr-x

Die eigens für dieses Projekt entwickelte „Java“-Software „LXControl“ befindet sich im Verzeichnis „java“, weitere kommerzielle Software, wie z.B. das „J2SDK“, befindet sich im Verzeichnis „programme“.
Zur detaillierten Erklärung von Programmen, Fotos, Dateien, usw. befinden sich in vielen Verzeichnissen „readme.txt“-Dateien.

Das Verzeichnis „refspek“ für Referenzspektren enthält Spektren von der NASA, die ich zur Kontrolle meiner Spektren benutzen konnte sowie eine Datei, in der verschiedene Absorptionen mit den dazugehörigen Wellenlängen dokumentiert sind.

Name	Größe	Dateityp	Geändert	Berechtigungen
02232003	8,0 KB	Ordner	04.03.2003 11:37	rwxr-xr-x
02272003	8,0 KB	Ordner	03.03.2003 17:13	rwxr-xr-x
03142003	8,0 KB	Ordner	16.03.2003 13:07	rwxr-xr-x
asc	8,0 KB	Ordner	05.04.2003 16:41	rwxr-xr-x
b	8,0 KB	Ordner	16.03.2003 13:16	rwxr-xr-x
c	8,0 KB	Ordner	16.03.2003 13:16	rwxr-xr-x
fits	8,0 KB	Ordner	08.03.2003 16:35	rwxr-xr-x
st7	8,0 KB	Ordner	25.04.2003 13:32	rwxr-xr-x
tifs	8,0 KB	Ordner	08.04.2003 19:10	rwxr-xr-x
14032003.p	7,1 KB	Pascal-Quellcode	15.03.2003 00:51	rwxr-xr-x
klassen.txt	808 B	Einfacher Text	15.03.2003 21:39	rwxr-xr-x
03152003	8,0 KB	Ordner	16.03.2003 13:09	rwxr-xr-x

Das Verzeichnis „spektren“ enthält sämtliche Aufnahmen, die ich mit meinem Apparat gemacht habe. Die Ordner sind mit dem jeweiligen Aufnahmedatum beschriftet und enthalten bis zu sechs Unterordner, die für verschiedene Bildformate stehen. In „asc“ befinden sich außer den ASCII-Dateien gegebenenfalls Excel-Dateien, die eine genauere Auswertung beinhalten.
Die Datei mit der Endung „.p“ ist die automatisch generierte Protokolldatei von „LXControl“. Weiter Dateien, wie z.B. „klassen.txt“ stellen zusätzliche Aufzeichnungen dar, die ich während der Beobachtung gemacht habe.

Danksagung

Während ich an diesem Projekt gearbeitet habe, konnte ich auf die Unterstützung zahlreicher Personen zurückgreifen, die ich in meiner Arbeit nicht unerwähnt lassen möchte.
Daher danke ich meinen Eltern, die zeitweise große Teile unseres Wohnzimmers zur Verfügung stellen mussten und mir beim nächtlichen Auf- und Abbauen des Teleskops geholfen haben. Außerdem wäre ich ohne ihre Hilfe nicht dazu gekommen, in der Eifel Beobachtungen zu betreiben.
Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Pollmann (Fachgruppenleiter der FG Spektroskopie in der VdS), der mich bei der Analyse meiner Spektren beraten und bei Herrn Klein, der mir kurzfristig und kostenlos zwei spezielle Adapterringe für meinen Apparat (siehe Abb. 4.3.1) angefertigt hat, bedanken.
Außerdem danke ich Frau Laska, Philip Dieckmann, Martin Kulla und meiner Mutter für die „freiwillige“, kritische Studie dieser Arbeit sowie allen, die mich dabei unterstützt haben, diese Arbeit fertigzustellen.