Carl-Fuhlrott-Gymnasium

Jahrgangsstufe 13

2012

Facharbeit Leistungskurs Physik

betreut von Michael Winkhaus und Bernd Koch

# Autoguiding der Teleskopmontierung Astro-Physics AP900

Die Besondere Lernleistung wurde im Rahmen einer Erweiterung der Facharbeit erstellt.

Verfasser: Benedikt Schneider (0202/ 47 35 98)

Abgabetermin: 30.03.2012

# Inhaltsverzeichnis:


| | Seite: |
|---|---|
| 1 Einführung | Ab 2 |
| 1.1 Begründung des Themas | 2 |
| 1.2 Thematischer Schwerpunkt | 2 |
| 2 Nachführung einer Teleskopmontierung | Ab 3 |
| 2.1 Nachführung einer Teleskopmontierung | 3 |
| 2.1.1 Der Antrieb einer Teleskopmontierung | 3-4 |
| 2.1.2 Methoden der Nachführung | 4 |
| 2.2 Autoguiding einer Teleskopmontierung | 4 |
| 2.2.1 Wie funktioniert ein Autoguider? | 4-5 |
| 2.2.2 Fehlerbetrachtung | 5-6 |
| 2.3 Experimenteller Aufbau | 6 |
| 2.3.1 Aufbau | 6-9 |
| 2.3.2 Astrophysics AP900 | 10 |
| 2.3.3 CCD-Kamera ALccd 5.2 | 10-11 |
| 2.3.4 Digitalkamera Canon EOS 450D | 11 |
| 2.4 Autoguiding am Beispiel des Orionnebels | 12 |
| 2.4.1 Einrichtung | 12-14 |
| 2.4.2 Das fotografische Ergebnis | 14-19 |
| 2.5 Analyse der Fehler anhand der aufgezeichneten Diagramme | 19-22 |
| 3 Zusammenfassung | Ab 23 |
| 3.1 Zusammenfassung der Ergebnisse und besondere Vorkommnisse | 23 |
| 3.2 Fazit | 23-24 |
| Abbildungsverzeichnis | 25 |
| Quellen | 25 |

# 1 Einführung

## 1.1 Begründung des Themas

Nachdem in der Jahrgangsstufe 12 die Arbeit an der Facharbeit „Spektralklassifikation“ beendet worden war, blieb weiterhin das Interesse, die Arbeit zu erweitern und als Besondere Lernleistung anzumelden. Dieses Mal jedoch sollte ein technisches Thema behandelt werden. Nach Rücksprache mit Bernd Koch, einem bekannten Astrofotografen, der die Arbeit betreute, wurde schnell ein passendes Thema gefunden. Es lautet: „Das Autoguiding an einer parallaktischen Teleskopmontierung zur Realisierung von Langzeit-Astrofotografie.“ Dazu sollte die Funktion des Autoguiding erforscht und erläutert werden. Anschließend wurde die erforderliche Hard- und Software testweise an Station 1 eingerichtet und getestet. Um die Erfahrungen auch nachfolgenden Generationen der Benutzer der Sternwarte mitzuteilen, sollte eine Bedienungsanleitung erstellt werden, in der die Funktionsweise und die nötige Vorgehensweise verschriftlicht wird.

## 1.2 Thematischer Schwerpunkt

Der Fokus dieser Besonderen Lernleistung wird auf dem Autoguiding einer deutschen Montierung liegen. Neben umfassender Theorie sollen auch praktische Tipps zum Autoguiding erläutert werden. Dabei geht es nicht schwerpunktmäßig um die Qualität der Aufnahmen oder den Inhalt des Bildes, sondern nur um die technische Seite einer guten Langzeitaufnahme.

Nach einer kleinen Einführung wird zunächst der experimentelle von Teleskop und Autoguider beschrieben, danach werden aufgenommene Ergebnisse des Beobachtungsabends vorgestellt. Anschließend werden die Aufnahmen ausgewertet, indem der Fehlergraph analysiert wird.

Zum Schluss werden die gewonnenen Ergebnisse zusammengefasst und diskutiert. Im abschließenden Fazit wird eine persönliche Stellungnahme vom Verfasser über den Verlauf der Besonderen Lernleistung gegeben.

# 2 Nachführung einer Teleskopmontierung

## 2.1 Einführung in das Autoguiding

Es folgt nun der Hauptteil der Besonderen Lernleistung. In Nachfolgenden werden verschiedene Methoden des Nachführens vorgestellt und die damit verbundenen Schwierigkeiten. Anschließend folgt eine kurze Überleitung zum praktischen Teil dieser Arbeit.

Bevor wir uns der Theorie, der Theorie des Autoguiding zuwenden, müssen wir uns mit dem Begriff der Nachführung einer Teleskopmontierung beschäftigen. Alles beruht auf einer folgenreichen Erkenntnis: Die Erde dreht sich um die eigene Achse. Würden wir das Teleskop nicht bewegen während einer Aufnahme, würde sich der beobachte Stern gleichmäßig aus dem Bild bewegen. Später auf dem Foto sähe man so nur einen langen Strich. Um dies zu vermeiden, muss das Teleskop ständig „nachgeführt“ werden, das heißt, dass die Montierung möglichst gleichmäßig gedreht werden muss. Dies kann man per Hand machen oder mit einem in der Montierung eingebauten Nachführmotor. Doch kein Motor läuft über längere Zeit präzise genug. Ohne Nachführkontrolle ist ein Stern auf der Aufnahme nach wenigen Minuten strichförmig abgebildet. Die Kontrolle der Nachführung und Korrektur von erkannten Abweichungen nennt man zunächst einmal "Guiding". Wenn eine digitale Nachführkamera die Funktion des Guiding übernimmt und selbstständig Korrekturbefehle an die Montierung sendet, nennt man das "Autoguiding". Die Vorteile des Autoguiding liegen in der exakten Nachführung. Die Software arbeitet insgesamt viel genauer als jede manuelle Korrektur. So können bei Langzeitaufnahmen perfekte Bilder aufgenommen werden.

### 2.1.1 Der Antrieb einer Teleskopmontierung

Ein weiterer Faktor ist der sogenannte Schneckenfehler. Um diesen zu verstehen, muss man sich erst einmal den Antrieb einer Teleskopmontierung anschauen. Abbildung 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau des Schneckengetriebes einer deutschen Montierung. Die Drehbewegung der Antriebswelle, meist an einen Motor angeschlossen, wird mit Hilfe eines Schneckenrads und einer Schnecke auf die Rektaszensionsachse der Montierung übertragen. Da zwischen Schnecke und Schneckenrad ein leichtes Spiel herrscht, entsteht eine kleine Ungenauigkeit bei der

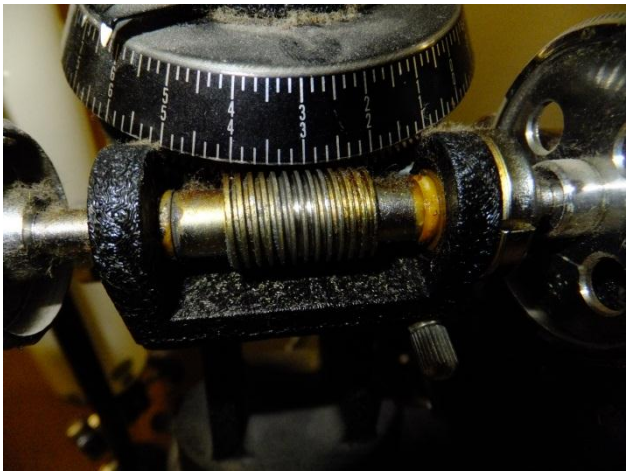

**Abb. 1: Das Schneckengetriebe bei einer Deutschen Montierung**

Nachführung. Der Verlauf der Abweichung kann man sich im Prinzip wie eine Sinuskurve vorstellen und nennt man Periodischen Fehler.

### 2.1.2 Methoden der Nachführung

Es gibt zwei verschiedene Methoden, die Genauigkeit der Nachführung bei einer laufenden Langzeitaufnahme zu überprüfen. Zum einen kann man ein Leitfernrohr (welches parallel zum Hauptfernrohr angebracht ist) verwenden, um die die exakte Position des Sternes zu überprüfen. Die andere Möglichkeit nennt sich „Off-Axis Guider." Dies ist eine Vorrichtung mit einem kleinen Auslenkprisma im Strahlengang, welches am Rand des Bildfeldes das Licht eines Nachführsterns auslenkt.

**Abb. 2: Beispielaufbau eines Off-Axis Guiders**

Bei beiden Methoden wird ein Fadenkreuzokular benötigt, um den Stern exakt auf seiner Position halten zu können. Auch dort unterscheidet man zwischen einfachen und sehr aufwendig gestalteten Fadenkreuzen.

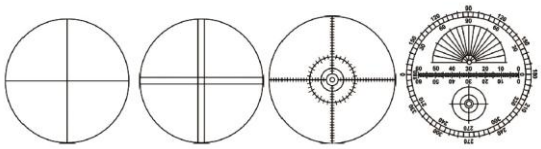

**Abb. 3: Fadenkreuzokular**

Bei einer Aufnahme mit einem Leitfernrohr wird neben dem zu beobachtenden Objekt ein Stern im Leitfernrohr angepeilt und genau in die Mitte des Fadenkreuzes im Sucherokular fokussiert. Ist dies geschehen, kann mit der Aufnahme begonnen werden. Während der Belichtungszeit muss der Stern nun möglichst exakt immer in der Mitte des Fadenkreuzes gehalten werden, damit das aufgenommene Objekt nicht später länglich als ein Strich in der Aufnahme erscheint.

Bei der Off-Axis Methode fokussiert man erst das aufzunehmende Objekt mit Hilfe der Kamera. Danach wird mit dem Fadenkreuzokular ein passender Nachführstern gesucht und angepeilt.

Bei der manuellen Nachführung ist es fast unmöglich, ein Objekt länger als 30 Sekunden am Stück zu belichten, da die Aufnahmen bei längerer Belichtungszeit immer als ein länglicher Strich oder ein verwischter Kreis zu erkennen ist. Deswegen kann man sich die Arbeit sehr erleichtern, indem man die Nachführung einer Software überlässt. Diese Methode wird näher im Punkt 2.2 beschrieben.

## 2.2 Autoguiding einer Teleskopmontierung

### 2.2.1 Wie funktioniert ein Autoguider?

Für die automatische Nachführung benötigt man eine Autoguider-Kamera, in unserem Fall die ALccd 5.2, eine Aufnahme-Kamera (EOS 450D) eine motorgesteuerte Montierung (AP 900) und eine

Software, die die Nachführkamera ansteuert und die Befehle an die Montierung weitergibt. Hier wurde das Programm „MAXIM DL PRO 5“ gewählt. Der Autoguider wird an den ED 80/600mm angesetzt. Zur Fotografie wurde eine modifizierte Canon EOS 450D an den Pentax 75/500mm angeschlossen. Der genaue Aufbau wird in 2.3.1 näher beschrieben.

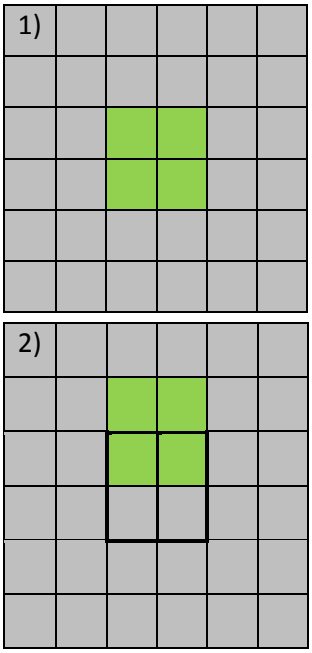


**Abb. 4: Darstellung eines Nachführsterns auf einem Chip (grün)**

Die Software erkennt nun die Position des Nachführsterns, da die Position auf dem Kamera Chip gespeichert wurde (1). Sind nun die Werte der gespeicherten Position des Nachführstern und der aktuellen unterschiedlich (2), korrigiert die Software diesen Unterschied mittels eines Steuerimpulses in die jeweilige Richtung.

Dieser Vorgang geschieht ca. einmal pro Sekunde, sodass der Stern schnell wieder auf seine ursprüngliche Position gelenkt wird. Die Aggressivität, mit der der Stern nachgeführt werden soll, kann eingestellt werden, je nachdem, wie groß die Korrekturanfälligkeit ist.

Die automatische Nachführung ist also ein Zusammenspiel der Autoguider-Kamera, der Software und der Montierung. Unabhängig davon können mit einer normalen Fotokamera Bilder aufgenommen werden.

## 2.2.2 Fehlerbetrachtung

Bei der Nachführung beeinflussen verschiedene Faktoren die Aufnahme.

Ein großes Problem stellt der Wind dar. Durch die große Angriffsfläche des Teleskops und der Montierung verwackelt der Wind immer wieder die Aufnahmen, vor allem, wenn er böig auftritt. Gut

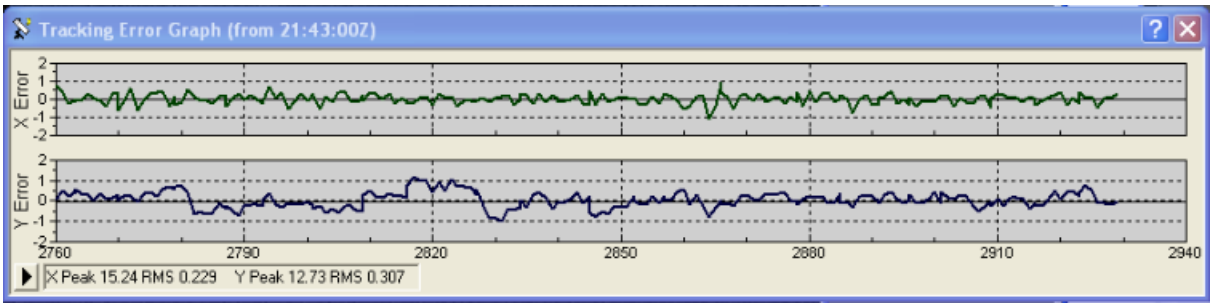


**Abb. 5: Beispiel eines Error Graph. Aufgenommen am 31.01.2012 um 21:43 Uhr. Auf der x-Achse ist die Zeit in Sekunden aufgetragen. Die untere, blaue Kurve zeigt die Abweichung des Nachführsterns von der Sollposition in Deklination (Y Error). Die obere, grüne Kurve entspricht der Rektaszension (X-Error).**

zu erkennen ist dieser Fehler bei dem sogenannten „Error Graph“, welcher die Abweichungen während einer Nachführung in X- und Y-Richtung aufzeichnet. Dies entspricht bei korrekter Ausrichtung des Autoguiders den beiden Himmelskoordinaten „Rektaszension“ und „Deklination.“

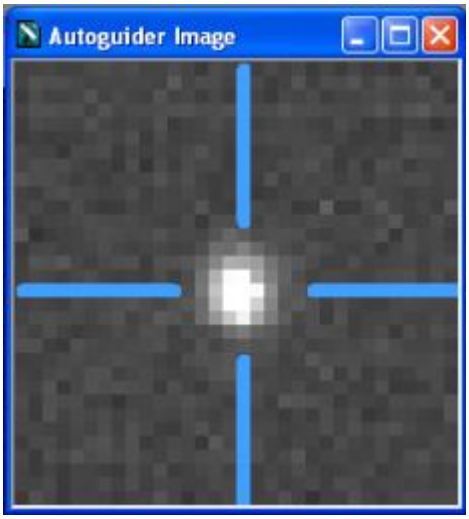


**Abb. 6: Der Nachführstern steht fast genau mittig im Schnittpunkt der X- und Y-Achse**

Aus dem abgebildeten Fehlergraphen kann man ablesen, dass der Wind nur in leichten Böen auftrat. Wird die Windstärke zu stark, ist eine Nachführung fast unmöglich, da die zu korrigierenden Ausschläge zu groß sind und der Nachführstern zu weit aus dem Raster austritt.

In Abbildung 6 erkennt man eine Momentaufnahme während der Nachführung. Der Stern steht fast exakt im Schnittpunkt der X-und Y-Achse und muss daher nicht sonderlich von der Montierung korrigiert werden. Diese minimale Abweichung erkennt man später positiv im Fehlergraphen in Form des Verlaufs um die Nulllinie.

## 2.3 Experimenteller Aufbau

### 2.3.1 Aufbau

Im Folgenden wird der genaue Aufbau des Beobachtungsabends am 13.01.2012 beschrieben und erläutert. Die Abbildung 7 veranschaulicht den hier beschriebenen Aufbau.

Zuerst wird der Wetterschutz des Teleskops abgenommen. Dies kann man nur zu zweit bewerkstelligen. In dem Wetterschutz befindet sich gleichzeitig ein Lüfter, die die Teleskopmontierung AP900 vor Feuchtigkeit schützt.

Der nächste Schritt stellt das Anschließen der Montierungssteuerung dar. Dazu muss das 12 Volt Netzgerät aus dem Zubehörwagen geholt und an einer der Steckdosen angeschlossen werden. Über ein Kabel wird dann die Montierung mit Strom versorgt. Ebenfalls wird das Handsteuergerät an die Montierung angeschlossen.

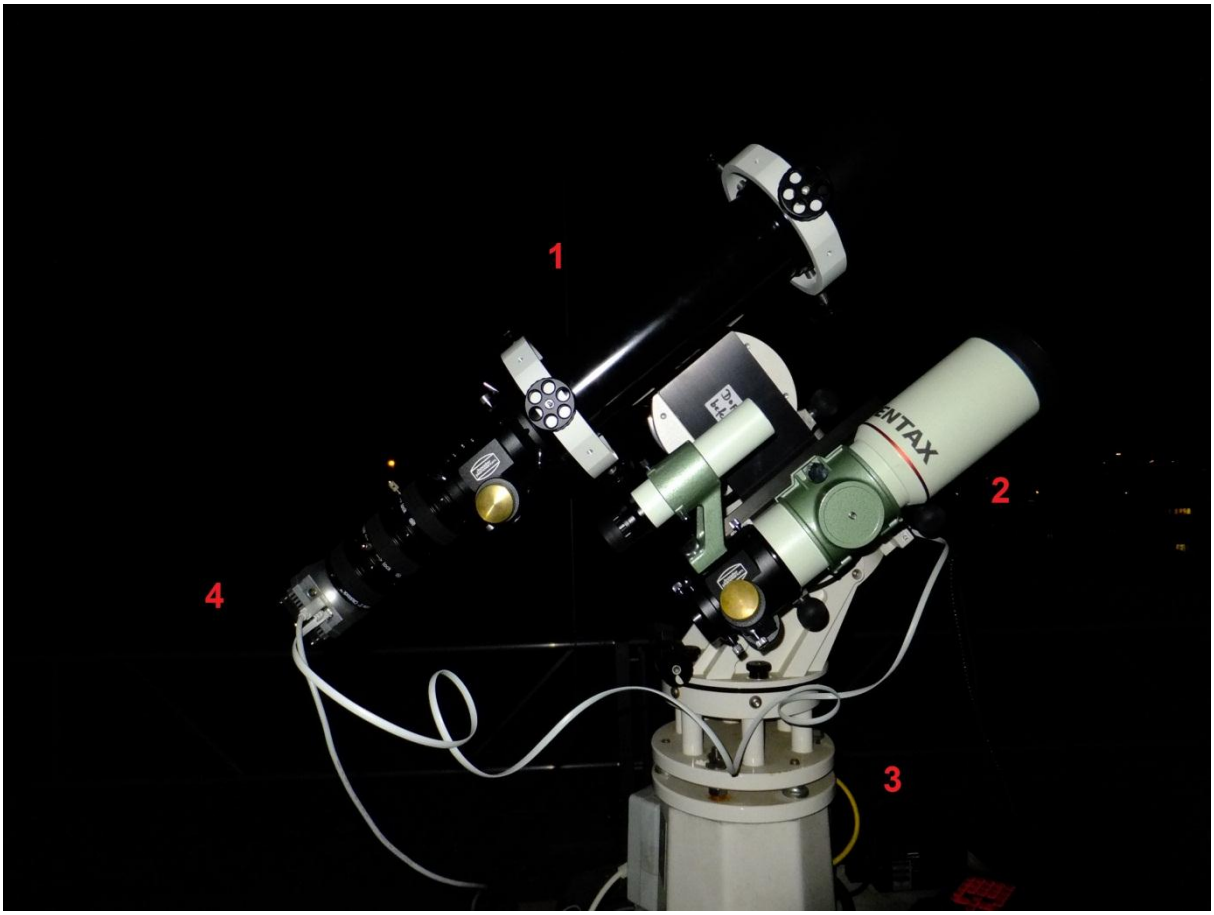


**Abb. 7: Autoguider ALccd 5.2 (4) an ED80/ 600 (1) und Pentax 75/500 (2) auf der AP900 Montierung (3).**

Zuerst werden die Gegengewichte aus dem Zubehörwagen genommen, auf die Gegengewichtsstange aufgeschoben und mit einer Sicherungsschraube gegen versehentliches Abrutschen gesichert. Danach können der Pentax 75/500 und der ED 80/600, die beide an einer Haltung befestigt sind, an die Montierung angesetzt werden. Beim Befestigen der Halterung für die beiden Teleskope muss unbedingt darauf geachtet werden, dass alle Schrauben handfest angezogen werden.

Als nächstes wird die Nachführkamera ALccd 5.2 an den ED80/600 angesetzt. Da der Okularauszug des Teleskopes bei der ALccd 5.2 nicht ausreicht, müssen hier auch noch Verlängerungen angebracht werden. Die Kamera wird nun an ein Notebook mittels USB angeschlossen. Das Notebook kann schon mal gestartet werden. Währenddessen wird die ALccd 5.2 zusätzlich zum Notebook auch mit der Montierung verbunden, damit auch diese die Signale empfangen kann.

**Abb. 8: Technischer Aufbau - Rückansicht**

Damit ist der Aufbau vorläufig abgeschlossen, denn nun kann man mit dem Programm „Maxim DL Pro5“ die korrekte Verbindung zur Kamera geprüft werden. Dazu muss im Setup Menü die entsprechende Kamera ausgewählt und eingerichtet werden. Im ‚Expose‘-Menü können weitere Einstellungen, wie zum Beispiel das Binning, verändert werden. Auch kann dort ein Darkframe nach einer Aufnahme erstellt werden. Nun kann Probefoto geschossen werden, um die Schärfe des Nachführsterns zu überprüfen und gegebenenfalls zu korrigieren. Sind alle Einstellungen abgeschlossen, kann mit dem Guiding testweise begonnen werden. Dazu wählt man den Reiter ‚Guide‘ im Camera Control Fenster. Man wählt einen Stern auf der zuletzt aufgenommenen Aufnahme aus, der verfolgt werden soll und beginnt mit dem Guiding. Anhand des Fehlergraphen erkennt man nun die zu korrigierenden Ausschläge in X- und Y-Richtung. Diese entstehen durch Windböen und weiteren Faktoren, die im Unterpunkt 2.2.2 näher beschrieben werden. Nun muss versucht werden, die Ausschläge möglichst gering zu halten, indem die Aggressivität der Montierung auf die Störungen angepasst wird. Bei leichten bis mittelschweren Böen ist die Einstellung X=1 und Y=2 zu empfehlen. Wenn man jetzt wieder testweise das Guiding startet, kann man eine hoffentlich gelungene Beruhigung des Graphen erkennen. Damit ist das Guiding eingerichtet.

Als nächstes wird nun die EOS 450D mit Hilfe eines T-Rings an den Pentax 75 befestigt. Die Stromversorgung und die Verbindung zum Notebook muss ebenfalls angeschlossen werden.

Nun kann das gewünschte Himmelsobjekt im Aufnahmeteleskop (Pentax 75) eingestellt werden.

Praktisch dabei ist die Lifeview-Funktion der Kamera, die es einem erlaubt, dauerhaft das Kamerabild zu sehen. So kann das Objekt leichter angesteuert werden. Ist der Stern eingestellt, sucht man sich einen Nachführstern. Dazu nimmt man eine Momentaufnahme mit Hilfe der ALccd 5.2 auf und wählt entsprechend den Stern aus. Dann beginnt man mit dem Guiding. Mit der Fernsteuerung der Kamera kann nun die gewünschte Belichtungszeit eingestellt werden und die Aufnahme gestartet werden.

Nachdem die Aufnahme beendet wurde, öffnet sich automatisch ein Fenster, indem die Aufnahme überprüft werden kann.

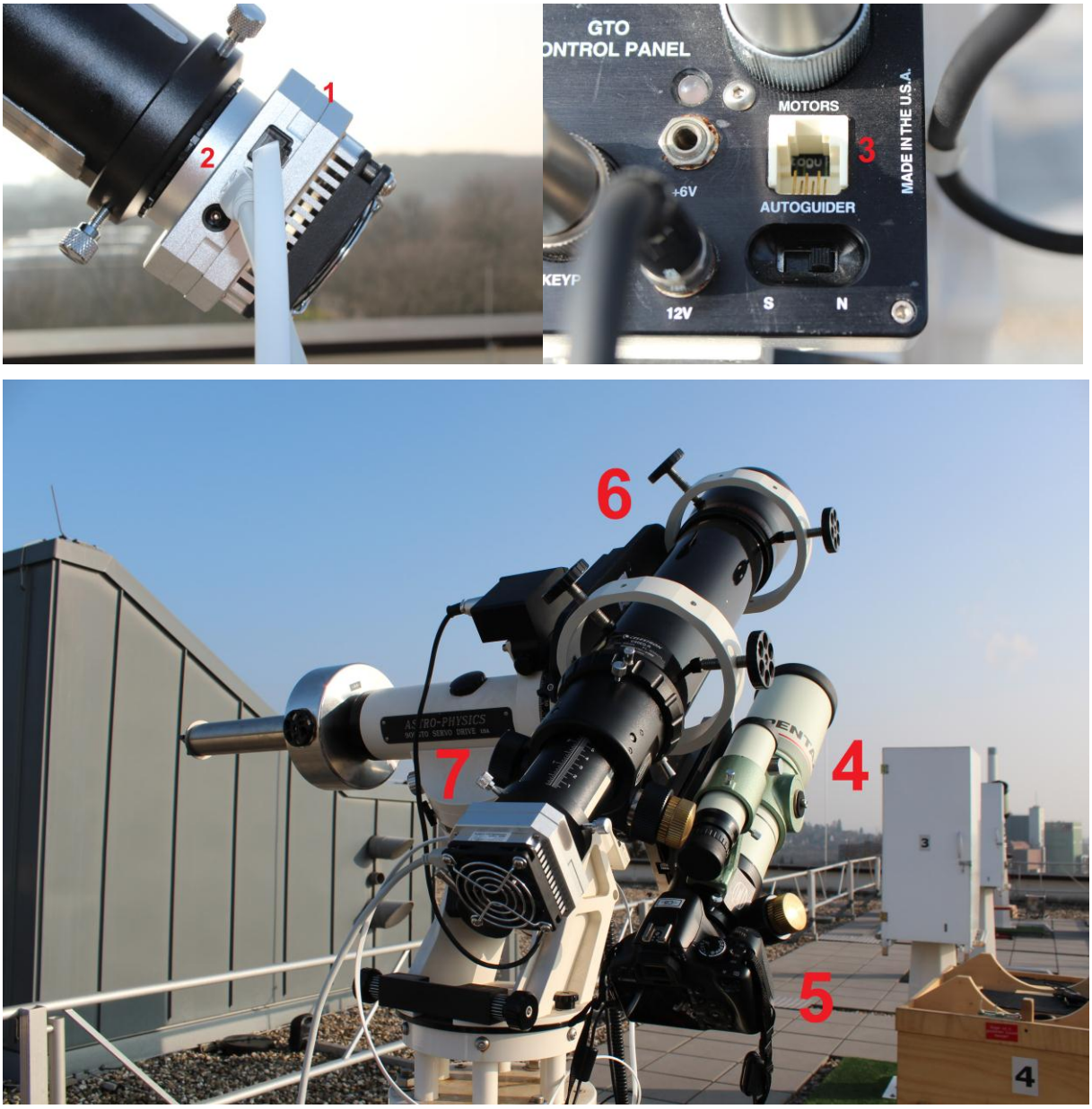


**Abb. 9: Autoguider Anschluss (1), USB-Anschluss (2), Autoguider Anschluss an der Montierung (3), Pentax 75/500 (4),EOS 450D (mod.), ED80/600 (6), ALccd 5.2 (7)**

## 2.3.2 Astro-Physics AP 900

| Astro-Physics AP 900 - Steckbrief | |
|---|---|
| Art: | Deutsche Montierung |
| Gewicht: | 22 Kg |
| Antrieb: | Schneckenräder (225 Zähne) |
| Motor: | Servo-Gleichstrommotoren |
| Anschlüsse: | Stromanschluss 12 V DC, Anschluss Handsteuerbox, Anschluss DE-Motor, 2 serielle Schnittstellen, Anschluss für Fadenkreuzbeleuchtung und Fokussiermotor |

**Abb. 10: Datenblatt AP900-Montierung**

Die wichtigsten Daten der AP900-Montierung sind in der Abb. 8 steckbriefartig aufgelistet.
Bei weiteren

Fragen sei auf die Bedienungsanleitung der Montierung verwiesen.

Bei der Astro-Physics AP900 handelt es sich um Deutsche Montierung. Die beiden Achsen sind über einen Motor angetrieben. Außerdem verfügt sie über einen ST-4-kompatiblen Autoguiderport, der benötigt wird, um die Montierung mit der Autoguider-Kamera zu verbinden

## 2.3.3 ALccd 5.2

| ALccd 5.2 - Steckbrief | |
|---|---|
| CCD-Chip | Sony ICX259AL |
| Typ | CCD |
| Chipdurchmesser | 7,8mm |
| Pixelgröße | 6,5 x 6,25µm |
| Datentiefe | 16 Bit |
| Belichtungszeit | 0,02 – 10.000 Sec |
| Anschlüsse | USB 2.0, RJ-12 Buchse, Stromanschluss 12 V DC (nur für Kühlung) |
| Gewicht | 275 Gramm |

**Abb. 11: Datenblatt ALccd 5.2**

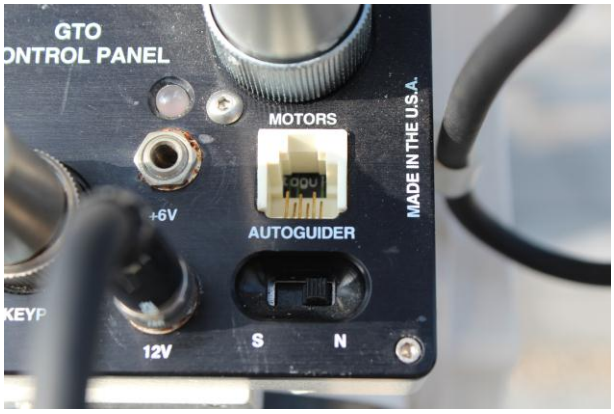


**Abb. 12: RJ-12 Buchse an der Montierung**

Die ALccd 5.2 ist eine CCD Kamera von Astrolumina. Die monochrome Kamera bietet sich aufgrund des leichten Gewichtes und der verschiedenen Anschlüsse hervorragend als Nachführkamera an. Per USB 2.0 kann sie mit einem Notebook verbunden werden. Da auch die Stromversorgung über die USB-Buchse läuft, benötigt man den 12 V Anschluss nur für die Kühlung. Die RJ-12 Buchse kann mit dem Autoguiderport Montierung verbunden werden, sodass eine automatische Nachführung problemlos möglich ist.

### 2.3.4 EOS 450D (mod.)

| EOS 450D (mod.) - Steckbrief | |
|---|---|
| Pixelzahl | 4272 x 2848 |
| Megapixel | 12,2 |
| Pixelgröße | 5,2µm |
| Chipgröße | 22,2mm x 14,8mm |
| Chipdiagonale | 26,7mm |

**Abb. 13: Datenblatt EOS 450D (mod.)**

Die EOS450D eignete sich erst nach einer Modifizierung zur Astrofotografie. Der Chip erhielt einen speziellen ACF-Filter, um eine höhere H-Alpha-Empfindlichkeit für Wasserstoff-Emissionsnebel wie den Orionnebel zu erreichen.

Für das Autoguiding wird vor allem die Liveview-Funktion der Kamera benötigt. Auf dem Bildschirm der Kamera wird das aktuelle Bild angezeigt, sodass Sterne leichter anvisiert und scharf gestellt werden können. Eine weitere unabdingbare Funktion ist die Langzeitaufnahme. Die EOS 450D (mod.) kann weit über 10 Minuten belichten. Dabei erleichtert die ‚EOS Utility Software' oder die Fernbedienung den Umgang, da die Kamera öfters in Positionen am Teleskop hängt, bei denen es unmöglich ist, in den Sucher zu schauen oder eine Funktion zu tätigen.

## 2.4 Autoguiding am Beispiel des Orionnebels

| Steckbrief Beobachtungsabend 31.01.2012 | |
|---|---|
| **Uhrzeit** | 19:00 – 24:00 Uhr |
| **Temperatur** | -7° Celsius |
| **Insel** | 1 |
| **Durchsicht** | Klar, leichter Dunst |
| **Windverhältnisse** | Leichte bis mittlere Böen |

### 2.4.1 Einrichtung

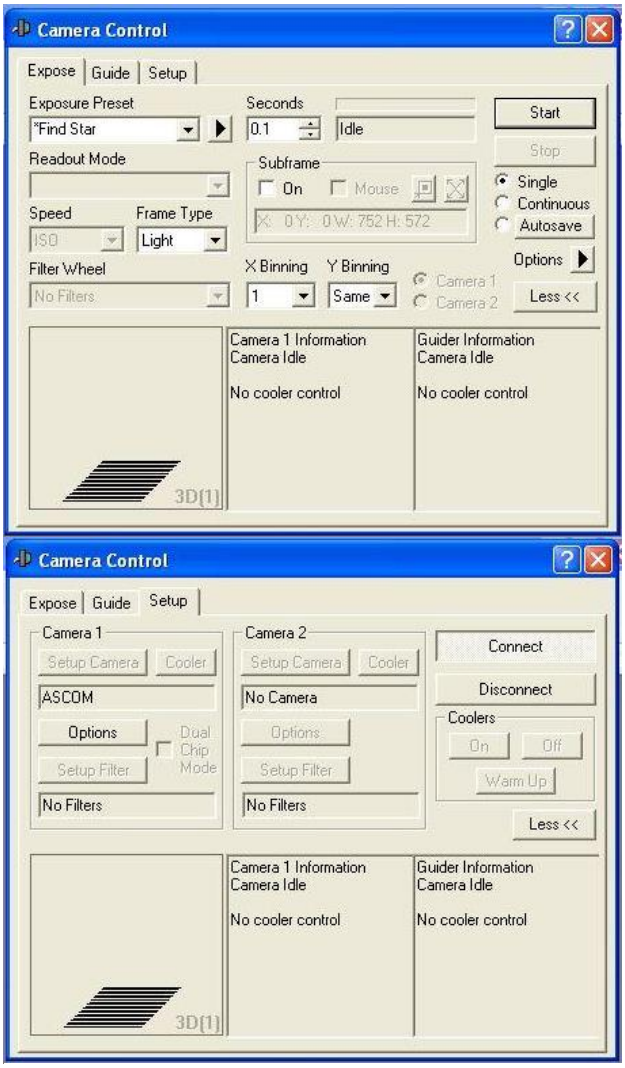


**Abb. 14: Expose/Setup-Menü MaxIm DL Pro 5**

Bevor es mit dem eigentlichen Guiden losgehen kann, muss das Programm „MAXIM DL PRO 5“ eingerichtet werden. Dazu öffnet man das Programm, nachdem man die Autoguiding Kamera per USB-Kabel mit dem Notebook verbunden hat. Dann wählt man das ‚Camera Control’-Fenster aus. Dort erscheinen drei Reiter. Für die Installation wählt man den Reiter ‚Setup’.

Dort kann man zwei verschiedene Kameras ansteuern. Dazu klickt man auf ‚Setup Camera’ und wählt ‚ASCOM’ aus. In den erweiterten Einstellungen kann man nun noch Feinheiten einstellen. Ist die Kamera fertig eingerichtet, kann man sie mit ‚Connect’ verbinden und das Programm zeigt mögliche Fehler an.

Nun wählt man den Reiter ‚Expose’. Dort kann man nun testweise eine einzelne Aufnahme mit variabler Belichtungszeit erstellen, oder direkt mehrere Bilder kontinuierlich aufnehmen. So erkennt man schon einen möglichen Stern, der sich als Nachführstern eignet. Zuvor muss jedoch noch das Bild scharf gestellt werden. In Abbildung15 erkennt man einen Stern, der noch sehr unscharf ist. Wie der Stern in scharf aussieht, erkennt man in Abbildung 16.

Nachdem auch der Nachführstern scharf gestellt wurde, kann der eigentliche Autoguiding-Vorgang beginnen. Dazu wählt man den Reiter ‚Guide'.

Dort kann man die Belichtungszeit, die Korrektur-Aggressivität und weitere Optionen einstellen. Auch ist es möglich, einen Graphen aufzeichnen zu lassen, der die Korrektur in X-und Y-Richtung anzeigt.

Startet man nun testweise einen Autoguiding-Vorgang, öffnet sich ein weites Fenster, indem der Nachführstern innerhalb des Rasters angezeigt wird. So kann der Beobachter jederzeit sehen, wie heftig der Stern aus dem Raster heraustritt und korrigiert werden muss. Das vollständige Fenster während einer Aufnahme ist in Abbildung 18 zu erkennen.

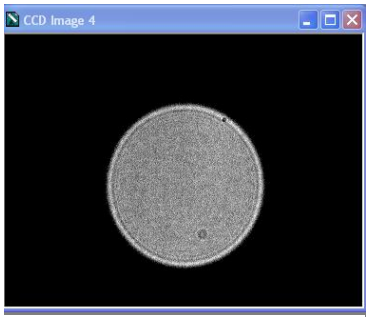


**Abb. 15: Nicht scharf gestellter Nachführstern**

**Abb. 16: Scharf gestellter Nachführstern**

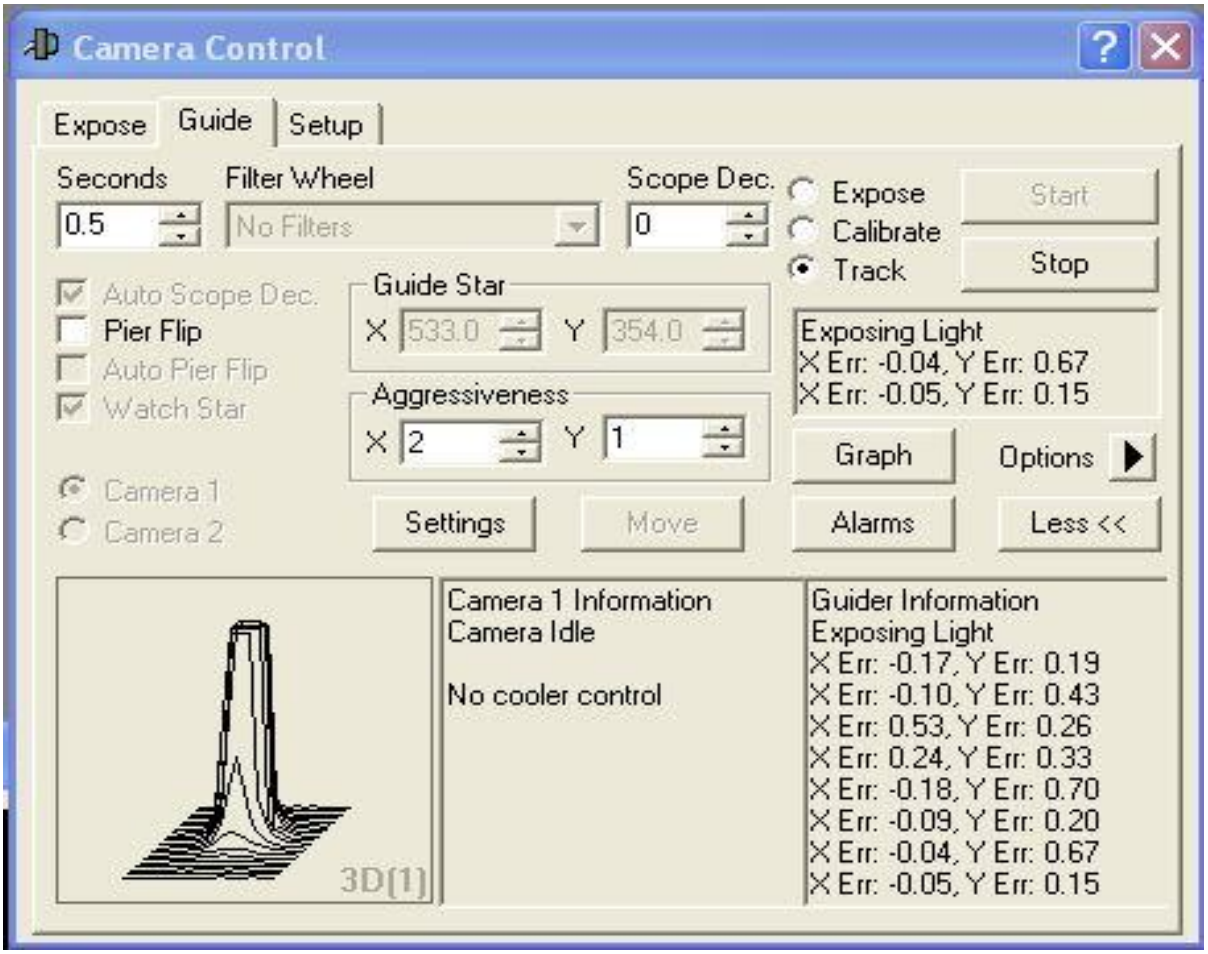


**Abb. 17: Guide-Menü MaxIm DL Pro 5**

Damit ist die Installation der Autoguiding-Kamera abgeschlossen und es kann mit dem Nachführen begonnen werden.

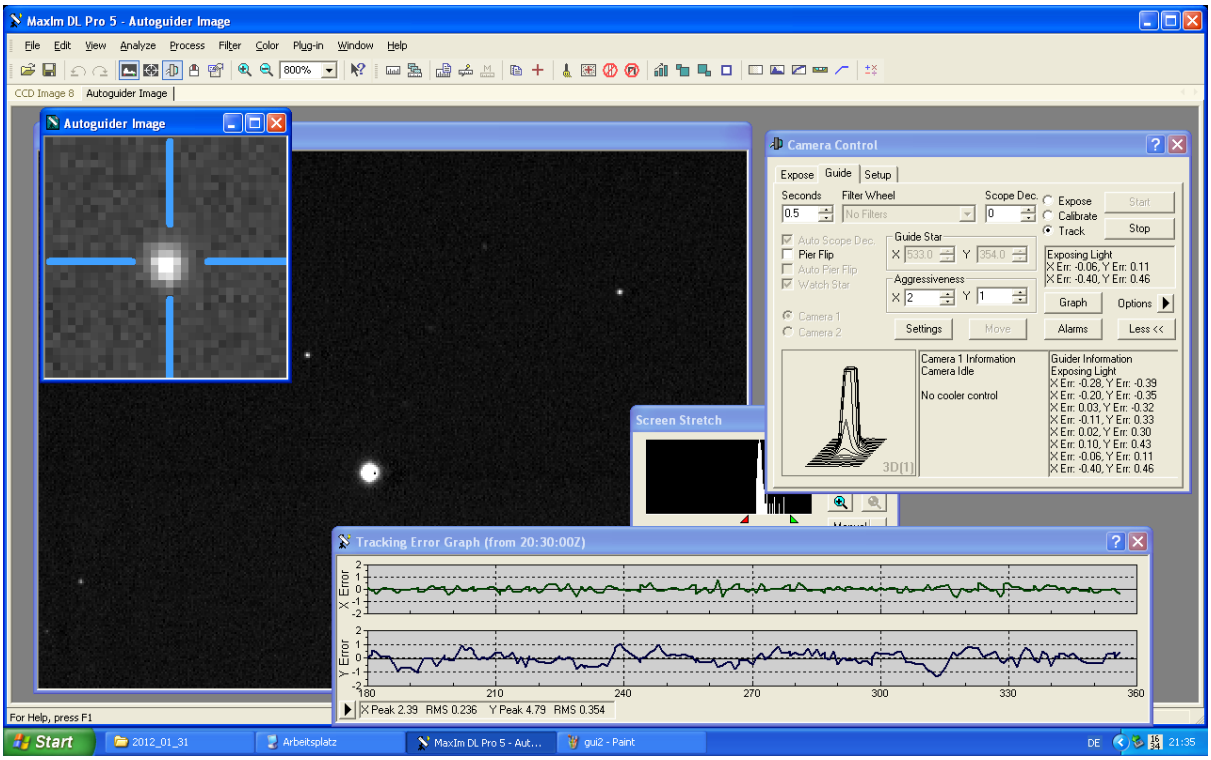


**Abb. 18: Screenshot von MAXIM DL PRO 5 während eines Autoguiding Tracking um 21:35 Uhr**

## 2.4.2 Autoguiding am Beispiel Orionnebel an Station 1 der Schülersternwarte

Nachdem nun der Aufbau und die Installation abgeschlossen sind, folgt nun ein konkretes Beispiel. Als aufzunehmendes Objekt wurde der Orionnebel gewählt. Er ist ein Emissionsnebel im Sternbild Orion und besteht aus den Einzelobjekten M 42 und M43. Auch mit bloßem Auge erkennt man ein lichtschwaches Nebelleuchten.

Als erstes musste die genaue Position des Orionnebels im Sternbild Orion gefunden und mit der Handsteuerung anvisiert werden. Das war gar nicht so einfach und es brauchte eine Weile, bis die Kamera eingestellt war. Nun konnte ein Nachführstern ausgewählt werden. Nachdem dieser markiert war, konnte das Guiding beginnen. Es folgten verschieden lange Bilderserien bei verschiedenen ISO Zahlen. Nach einer Aufnahme mit 10 Minuten Belichtungszeit bei der ISO Zahl 400, die sehr überbelichtet war, konnte man schon die guten Guiding Ergebnisse erkennen. Kein Stern war in die Länge gezogen als ein Strich zu erkennen. Danach folgten weitere Bilderserien mit einer Belichtungszeit von 30s bis 5 min und der ISO Empfindlichkeit von 100 – 400. Immer nach einer Aufnahme wurde ein entsprechend langes Darkframe erstellt, deswegen dauerten die Aufnahmen immer doppelt so lange, wie vorher eingestellt.

Die Ergebnisse sind in den folgenden Abbildungen zu erkennen:

**Abbildung 19: Belichtungszeit: 5s, ISO 400**

Bei einer relativ kurzen Belichtungszeit wurde dieses Foto aufgenommen. Auch wenn die ISO Zahl recht hoch ist, erkennt man nur wenig vom Orionnebel.

**Abbildung 20: Belichtungszeit: 300s, ISO 400**

Nachdem sowohl die Belichtungszeit als auch die Empfindlichkeit drastisch erhöht wurden, erkennt man nun sehr deutlich den Orionnebel. Allerdings ist die Aufnahme insgesamt auch sehr überbelichtet.

**Abbildung 21: Belichtungszeit: 60s, ISO 400**

Bei dieser Aufnahme wurde die Belichtungszeit auf ein Fünftel reduziert. Nun erkennt man den Orionnebel sehr deutlich, allerdings kann man auch hier von einer nur noch leichten Überbelichtung sprechen.

**Abbildung 22: Belichtungszeit: 60s, ISO 100**

Hier wurde testweise die Empfindlichkeit auf ISO 100 gesenkt. Das macht sich in der Helligkeit des Bildes bemerkbar und nur noch wenige Teile des Orionnebels sind zu erkennen.

**Abbildung 23: Belichtungszeit: 120s, ISO 100**

Nachdem die Belichtungszeit verdoppelt wurde, erkennt man wieder mehr Details des Orionnebels als zuvor.

**Abbildung 24: Belichtungszeit: 10s, ISO 200**

Hierbei handelt es sich wieder um eine Kurzzeitaufnahme von 10 Sekunden Belichtungszeit bei einer erhöhten Empfindlichkeit. Die Qualität einer Kurzzeitaufnahme im Gegensatz zu einer Langzeitaufnahme ist hier deutlich zu erkennen.

**Abbildung 25: Belichtungszeit: 30s, ISO 200**

Die letzte Aufnahme der Bilderserie wurde mit 30 Sekunden zu kurz belichtet. Auch die relativ hohe Empfindlichkeit kann nicht viel an der zu dunklen Aufnahme verändern.

Die vorherigen Abbildungen wurden aufgenommen, um ein Gefühl für die verschiedenen Belichtungszeiten und Empfindlichkeiten der EOS 450D zu bekommen. Schnell stellt sich heraus, ob eine Belichtungszeit in Kombination mit der ISO Zahl zu hoch oder zu niedrig gewählt wurde.

Nachdem alle Aufnahmen aufgenommen waren, konnten diese mit Hilfe von „DeepSkyStacker“ gestackt und zu einem Summenbild zusammengefügt werden. Das Resultat ist in Abbildung 26 zu erkennen.

**Abb. 26: Summenbild vom Orionnebel, erstellt mit „DeepSkyStacker“**

## 2.5 Fehleranalyse anhand der aufgezeichneten Graphen

Anhand einer Aufnahme soll nun eine Fehleranalyse durchgeführt werden. Dazu wurde der Orionnebel aufgenommen. In der Abbildung 27 erkennt man einen Screenshot des Programms Maxim DL Pro 5, indem folgende Fenster geöffnet sind:

- Im großen Fenster ist das Videobild zu erkennen, welches die ALccd 5.2 liefert. Hier wurde ein Stern bestimmt, der zum Nachführen benutzt wird.
- Im kleineren Fenster oben links ist der ausgewählte Nachführstern zu sehen. Zusätzlich sind die X- und Y-Achse eingeblendet, um direkt die Abweichungen zu sehen.

- Unten im Bild ist der Fehlergraph zu erkennen. In zwei verschiedenen Verläufen sind die Abweichungen in X- und Y-Richtung zu verfolgen. Die Analyse des genauen Verlaufs wird unten beschrieben.
- Das „Camera Control“ Fenster befindet sich rechts im Bild. Dort ist der Reiter „Guide“ geöffnet. Dort kann man verschiedene Einstellungen vornehmen, wie beispielsweise die Belichtungszeit, oder die Aggressivität, mit der die Abweichungen korrigiert werden sollen.

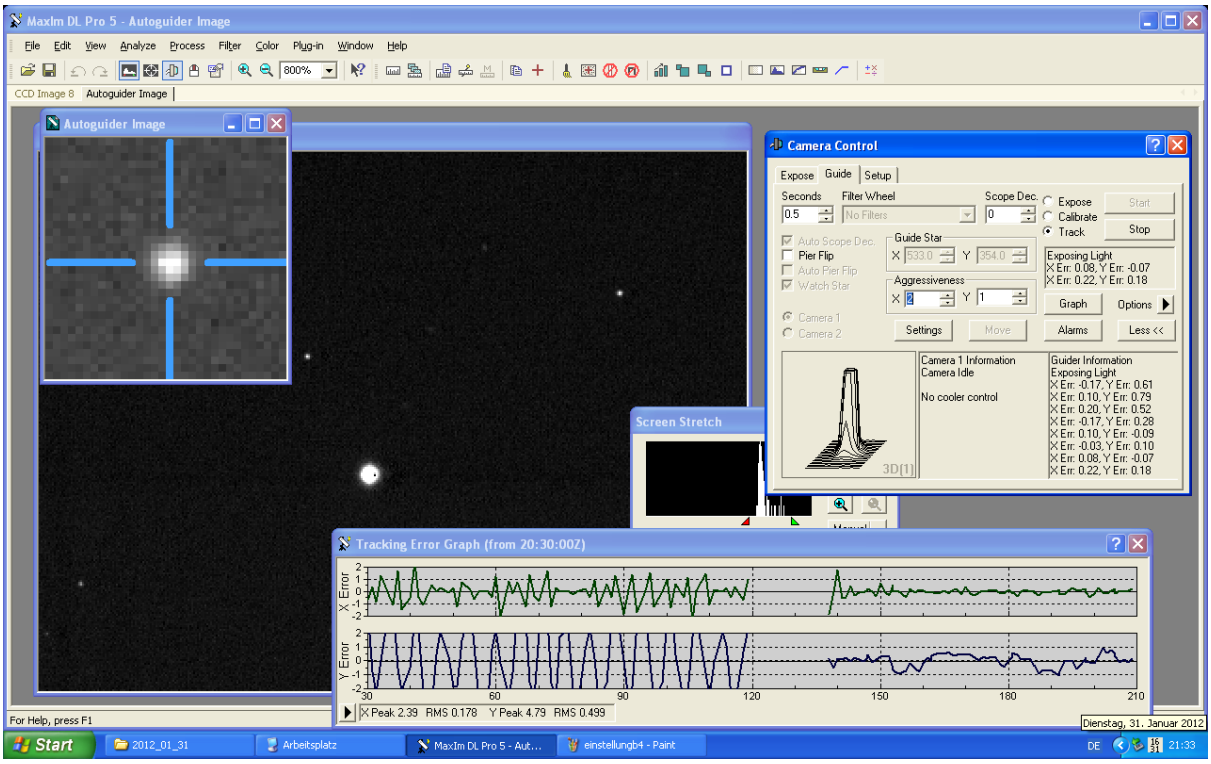


**Abb. 27: Screenshot von Maxim DL Pro 5 während einer Autoguiding-Phase. Ausführliche Beschreibung im Text.**

Nun kommt die Auswertung des Fehlergraphen. In den ersten 120 Sekunden des Autoguiding erkennt man heftige Schwankungen in X- und Y-Richtung. Sie deuten auf ein zu aggressives Verhalten der Montierung hin. Selbst kleine Abweichungen werden zu stark in die Gegenrichtung ausgeglichen, sodass wiederum in die Gegenrichtung korrigiert werden muss. So entsteht ein „Aufschaukeln“ der Gegenbewegungen. Dies ist besonders in Y-Richtung deutlich zu erkennen.

Nach 120 Sekunden wurde die erste Sequenz des Autoguiding unterbrochen, für circa 15 Sekunden. Nachdem nun die Aggressivität von dem Wert „8“, jeweils in X- und Y-Richtung auf „2“ in X- und „1“ in Y-Richtung gesenkt wurde, wurde bei circa 140 Sekunden der zweite Versuch gestartet. In X-Richtung erkennt man anfangs ein großes Schwanken, was dadurch entsteht, dass der anvisierte Stern erst wieder in die Mitte des Rasters gebracht werden muss. Nachdem dies geschehen ist, erkennt man nur noch geringfügige Schwankungen. Diese sind durch Windböen entstanden, die sich in Y-Richtung bemerkbar machen. So lässt sich aus dem Fehlergraphen der Verlauf des Autoguiding relativ genau auswerten.

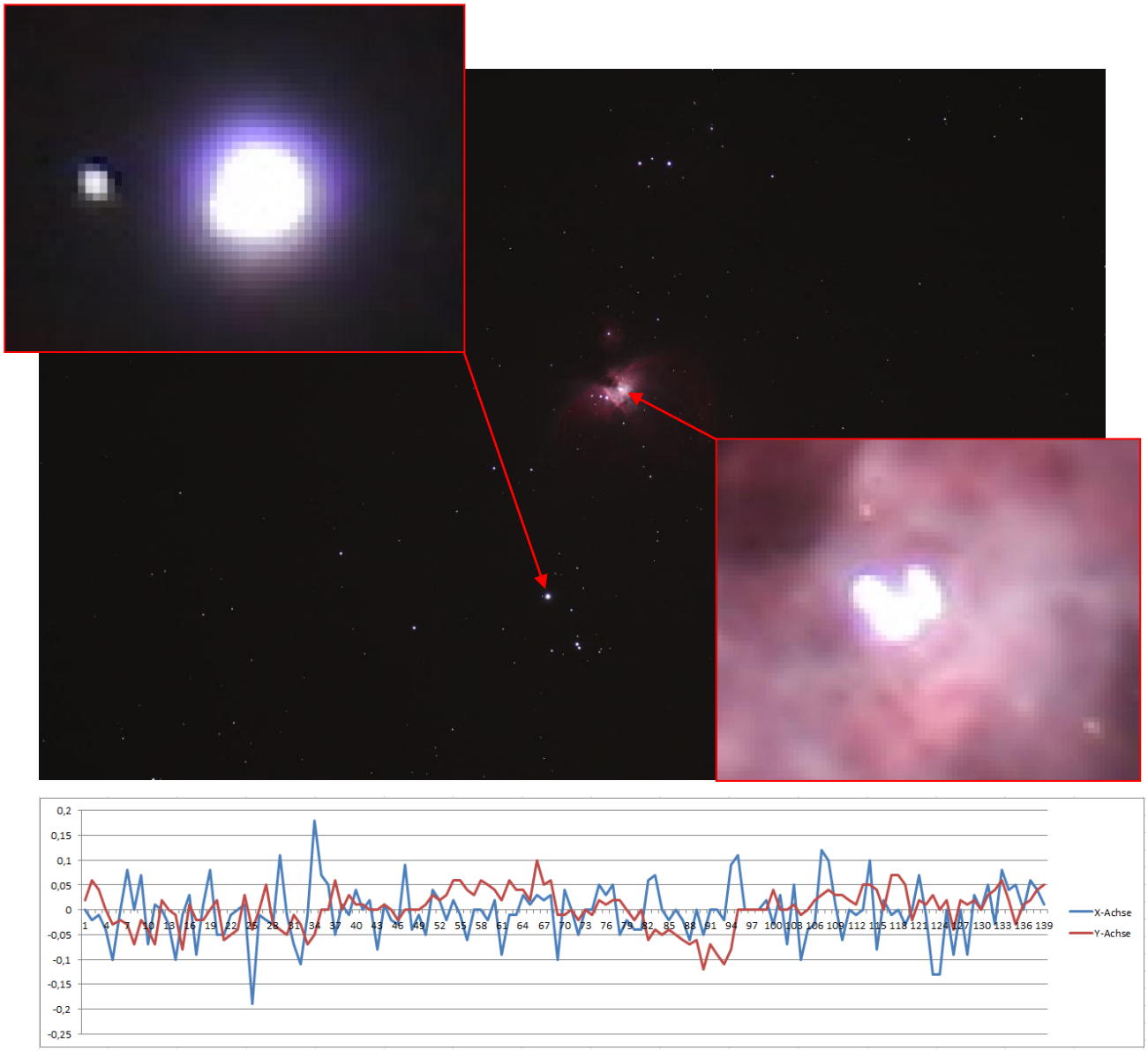


**Abb. 28: Aufnahme des Orionnebels mit zwei stark vergrößerten Bildausschnitten, Belichtungsdauer: 120 Sek, ISO 100. Unten abgebildet: Korrekturgraph der Montierung während der Aufnahme. Dauer: 139 Sek.**

Es folgt die Fehleranalyse anhand der oben abgebildeten Aufnahme des Orionnebels. Das Bild in Abbildung 28 wurde um 23:39 Uhr aufgenommen, mit einer Belichtungsdauer von 120 Sekunden. Entsprechend lang ist der Korrekturgraph der Montierung, der unter der Aufnahme dargestellt wurde.

Auf den vergrößerten Bildausschnitten lässt sich gut die Nachführung erkennen. Die Nachführung ist, wie man in dem Korrekturgraph der Montierung erkennen kann, oft in X- und Y-Richtung abgewichen, was zu einem insgesamt kreisförmigen Aussehen führt. Ebenfalls gut zu erkennen ist der heftige Ausschlag in X-Richtung bei Sekunde 25 und 34. Dies beschert dem Stern später auf der Aufnahme eine längliche Form.

Speziell bei der vergrößerten Ansicht ist die Verschmelzung mehrerer vorher einzelner Sterne treffend dargestellt. Eigentlich sollten dort die vier Trapezsterne im Zentrum des Orionnebels zu erkennen sein, die aber durch die lange Belichtungsdauer und die ganz leicht ungenaue Nachführung verwischt sind. Dies ist auf die mittelstarken Windböen zurück zu führen, die das Teleskop öfter erfasst und verwackelt haben. Das Teleskop bietet leider eine große Angriffsfläche für den Wind.

# 3 Zusammenfassung

## 3.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Während der Arbeit an der Besonderen Lernleistung wurde viel Neuland betreten. Anfangs konnte ich mir nur wenig unter dem Oberbegriff „Autoguiding“ vorstellen. Als ich jedoch das Buch „Digitale Astrofotografie“ von Bernd Koch und Axel Martin las, sammelte ich zunehmend Wissen über dieses Thema. An einem Vortreffen mit Bernd Koch erlernte ich den Umgang mit dem Programm „MAXIM DL PRO 5“, dass zum Autoguiding benötigt wird. Testweise wurde eine Nachführkamera angeschlossen und ein wenig mit den Einstellungen experimentiert. Bei dem darauffolgenden Beobachtungsabend wurden viele Langzeitaufnahmen produziert, um das Autoguiding in der Praxis zu erlernen. Die Ergebnisse der Aufnahmen sind in dem Unterpunkt 2.4.2 dargestellt und kommentiert.

Nachdem in der Einführung dieser Arbeit das Thema und der Schwerpunkt näher erläutert wurden, beginnt der Hauptteil mit einer Einführung in die Nachführung von Sternen. Anschließend folgt eine Überleitung zu der automatischen Nachführung, dem sogenannten Autoguiding. In dem Punkt 2.3 wird der experimentelle Aufbau des Beobachtungsabends am 31.01.2012 beschrieben und die einzelnen Komponenten einzeln beleuchtet. Zuletzt wird das Autoguiding am Beispiel des Orionnebels vorgestellt und die Ergebnisse präsentiert. In einer Analyse der Fehler erkennt man die auftretenden Fehler beim Guiding. In diesem Zusammenfassung werden die Ergebnisse festgehalten und ein persönliches Fazit des Autors gegeben.

## 3.2 Fazit

Wie auch die Facharbeit „Spektralklassifikation“ wurde auch dieses Projekt aufwendig betreut. An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Koch bedanken, der all meine Fragen beantwortet hat und mir an dem Beobachtungsabend geholfen hat, das Autoguiding an Station 1 einzurichten und durchzuführen.

Die Arbeit an der Besonderen Lernleistung war sehr interessant und abwechslungsreich. Schon bei der Themenwahl standen viele unterschiedliche Themen als Vorschläge bereit. Ich habe mich für ein technisches Thema entschieden, da ich mich in meiner Freizeit viel mit medientechnischen Projekten beschäftige. Was mich sehr motivierte war der Fakt, dass ich mit meiner Arbeit die Schülersternwarte ein wenig weiterbringe, indem ich das Autoguiding an den Stationen einrichtete. Da das vorher noch kein Schüler durchgeführt hatte, ist nun die Durchführung den nachfolgenden Generationen vereinfacht.

Das Vortreffen vor dem Beobachtungsabend war sinnvoll, da ich mich dort mit dem Programm „MAXIM DL 5 PRO“ vertraut machen konnte und schon mal probeweise die ALccd 5.2 Kamera anschließen konnte. Auch wurden die ersten Fragen mit Herrn Koch zusammen besprochen.

Der Beobachtungsabend war aufgrund der niedrigen Temperaturen nicht sehr angenehm. Bei -7° Celsius froren die Finger beim Aufbau der Geräte schnell ein, sodass immer wieder Pausen eingelegt werden mussten, um die Hände an einer warmen Heizung wieder aufzutauen. Glücklicherweise konnte man die Notebook und Kameras mit Handschuhen bedienen, sodass die Durchführung angenehmer war. Nach fünf Stunden in der Kälte war dann zum Glück alle Arbeit getan und man konnte nach Hause fahren.

Jede Woche Donnerstag bestand die Gelegenheit, sich gemeinsam mit den anderen „Schreibern“ in der Schule zu treffen, um dort gemeinsam die Fortschritte zu besprechen und Fragen zu klären. Auch konnten die Notebooks von der Sternwarte zur Auswertung genutzt werden. Da dort viele Programme installiert waren, die man zu Hause nicht zu Verfügung stehen hatte, war dies eine sehr willkommene Gelegenheit.

Der größte Teil der Verschriftlichung dieser Arbeit erfolgte zu  Hause. So hoffe ich, dass sich die Arbeit an der Besonderen Lernleistung gelohnt hat und viele Schüler demnächst an der Sternwarte das Autoguiding erlernen können. So können auch Langzeitaufnahmen realisiert werden, was die Qualität mancher Bilder noch vielleicht erhöhen könnte.

## Abbildungsverzeichnis:

Abbildungen 1, 4-9, 12, 14-28: Privates Archiv von Benedikt Schneider

Abbildung 2: http://www.telescope-service.com/accessoriespics/CE_Radial_2z_montiert_B300.jpg

Abbildung 3: http://www.oculum.de/oculum/titel.asp?ID=2302201209410688&Nr=31

Abbildung 10: http://www.teleskop-express.de/shop/product_info.php/info/p1761_AstroPhysics-Montierung-GTO-900---GoTo---bis-32kg.html

Abbildung11: http://www.teleskop-express.de/shop/product_info.php/info/p2727_ALccd-5-2-Guiding--und-Deepsky-Kamera.html

Abbildung 13: http://www.digitalkamera.de/Testbericht/Canon_EOS_450D/4839.aspx

## Quellen:

Literatur:

Digitale Astrofotografie, von Axel Martin und Bernd Koch, Oculum-Verlag

http://www.oculum.de/oculum/titel.asp?ID=2302201209410688&Nr=31

Verwendete Software:

MaxIm DL: http://www.cyanogen.com

DeepSkyStacker: http://deepskystacker.free.fr/german/index.html