Videografie von Doppelsternsystemen mit dem C11 EdgeHD Teleskop

Abbildung 1: Doppelsternsystem Castor

Kursleiter:	Bernd Koch
Verfasser:	Patrick Jansen
Email:	jansen.patrick.1@web.de
Adresse:	Hackestr. 31, 42349 Wuppertal
Schule:	Carl-Fuhlrott-Gymnasium
Fach:	Projektkurs Astronomie Q1
Jahrgang:	2015/16
Abgabedatum:	01.06.2016

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 10
1.1. Themenwahl 10
1.2. Aufgabenstellung und Zielsetzung der Arbeit 10
1.3. Gang der Arbeit 11
2. Theoretische Grundlagen 12
2.1. Definition von Doppelsternen 12
2.2. Allgemeine Größen und Werte von Doppelsternen 13
2.3. Berechnung der Masse eines Doppelsternsystems 13
3. Allgemeine Informationen 15
3.1. Technische Daten zum Teleskop 15
3.2. Technische Daten zu den Kameras 16
4. Zusatzleistung 18
4.1. Bau einer Blende für das C11-Teleskop 18
4.2. Doppelsternverzeichnis 22
5. Aufnahmebedingungen 23
5.1. Wetterbedingungen 23
5.2. Auswirkung der äußerlichen Lichtverhältnisse 23
5.3. Beobachter 24
6. Beobachtungen und Bildbearbeitung 25
6.1. Aufbau für die Beobachtungen im Deep Sky 25
6.2. Durchführung der Messung 28
6.3. Entstandene Rohbilder 29
6.4. Bearbeitung der Rohbilder/Videos 32
6.4.1. Stacking der Videos 32
6.4.2. Nord-Süd-Richtung im Bild/Video bestimmen 36
6.4.3. Bogensekunden pro Pixel bestimmen 42

7. Anwendung auf Sirius 44

7.1. Beweis der Nordrichtung anhand von Castor 44

7.2. Beweis des Maßstabs anhand Porrimas 45

7.3. Bezug von Maßstab und Nordrichtung auf Sirius 48

8. Ergebnisse 52

9. Fehlerbetrachtung 55

Anhang 56

Literaturverzeichnis 57

A	Hauptstern eines Doppelsternsystems
B	Partnerstern vom Hauptstern eines Doppelsternsystems
CFG	Carl-Fuhlrott-Gymnasium
d.h.	das heißt
F	Kraft (Gravitationskraft/Zentrifugalkraft)
G	Gravitationskonstante
m	Masse
m1	Masse des ersten Sternes
m2	Masse des zweiten Sternes
NRW	Nordrhein-Westfalen
PC	Personal Computer
r	Radius zum Masseschwerpunkt
r1	Radius des ersten Sternes
r2	Radius der zweiten Sternes
T	Umlaufzeit
usw.	und so weiter
ω (omega)	Winkelgeschwindigkeit
z.B.	zum Beispiel

ω	Omega
π	Pi

Abbildung 1: Doppelsternsystem Castor 1
Abbildung 2: Querschnitt eines C11 Teleskops 15
Abbildung 3: Kameradaten für DBK21AU04 17
Abbildung 4: Sirius mit Leuchtspitzen (Spitzen sind ganz schwach zu erkennen) 18
Abbildung 5: Maße der selbstgebauten Blende 1 19
Abbildung 6: Maße der selbstgebauten Blende 2 19
Abbildung 7: Ausfräsungen der Blende 20
Abbildung 8: Montierte Blende ohne Lackierung 21
Abbildung 9: Ausfräsung für Passgenauigkeit 21
Abbildung 10: Montierte Blende im Endzustand 21
Abbildung 11: C11 Teleskop 25
Abbildung 12: Trafo und Bedienelement (rechts), Anschlussstelle für Trafo und.....
Bedienelement an 900GTO Montierung (links) 25
Abbildung 13: horizontale Ausrichtung des Teleskopes 25
Abbildung 14: Schnittstelle zum PC (links), Aussehen der Kameras (Mitte links),.....
Montierung der Kamera am Teleskop (Mitte), Montierte Kamera am Teleskop mit PC...
Verbindung (rechts bzw. Mitte rechts) 26
Abbildung 15: Feuchtigkeitsschutzfolie (links), Stromversorgung und PC (rechts) 27
Abbildung 16: Castor links 29
Abbildung 17: Castor zentral 29
Abbildung 18: Castor rechts 29
Abbildung 19: Porrima links 30
Abbildung 20: Porrima zentral/rechts 30
Abbildung 21: Sirius links 30
Abbildung 22: Sirius zentral 31
Abbildung 23: Sirius rechts 31
Abbildung 24: Giotto Startfenster 32
Abbildung 25: Bildüberlagerung durch Giotto (stacken) 32
Abbildung 26: Laden des gewünschten Videos 33
Abbildung 27: Auswahl des gewünschten Videos 34
Abbildung 28: Auswahl des zu stackenden Videos 34
Abbildung 29: Ladevorgang 35
Abbildung 30: Speichern der gestackten Bilder 35
Abbildung 31: Ablegen der zu speichernden Datei auf dem Computer 36

Abbildung 32: Zerlegung des Videos in einzelne Bilder 37
Abbildung 33: Auswahl des Videos und Bestimmung des späteren Speicherplatzes 37
Abbildung 34: Auswahl des Speicherortes 38
Abbildung 35: Bearbeitung der Bilder mittels Photoshop 38
Abbildung 36: Duplizieren der Ebene..... 39
Abbildung 37: Wechsel in andere Datei 39
Abbildung 38: Verbindung der beiden Sterne und Winkelablesung 40
Abbildung 39: Bild als Ebene 0 deklarieren 40
Abbildung 40: Drehen des Bildes 41
Abbildung 41: Bild von Castor im Programm Photoshop 42
Abbildung 42: Starkes herein Zoomen in das eingefügte Bild 43
Abbildung 43: Pixelbestimmung mit Linealwerkzeug 43
Abbildung 44: Ausrichtung der Nordrichtung und vorheriges deklarieren der Ebene ... 44
Abbildung 45: Einsatz des Linealwerkzeuges und Einfügen der senkrechten und..... horizontalen Geraden 45
Abbildung 46: Drehung von Porrima nach Norden 46
Abbildung 47: Heran Zoomen, Auswahl des "Linealwerkzeuges" und Geraden..... einzeichnen..... 47
Abbildung 48: Umlaufbahn des Begleitsternes von Porrima..... 47
Abbildung 49: Sirius nach Norden ausgerichtet 48
Abbildung 50: Heran Zoomen und mit "Linealwerkzeug" Pixel anhand des Maßstabes... einzeichnen..... 49
Abbildung 51: Einzeichnen der Position von Sirius B mit einem Rechteck..... 49
Abbildung 52: Heran Zoomen an das/den Rechteck/Bereich, in welchem sich Sirius B... befindet..... 50
Abbildung 53: Zurückdrehen in die Ausgangsposition 50
Abbildung 54: Eintragung der Himmelsrichtungen..... 51
Abbildung 55: Umlaufbahn von Sirius B..... 51
Abbildung 56: Castor (gestacked)..... 53
Abbildung 57: Sirius (gestacked)..... 53
Abbildung 58: Porrima (gestacked) 53
Abbildung 59: Castor (nach Norden ausgerichtet)..... 53
Abbildung 60: Porrima (nach Norden ausgerichtet) 54
Abbildung 61: Sirius (nach Norden ausgerichtet)..... 54

Tabelle 1: C11 Teleskop 15
Tabelle 2: Kamera DMK41AU02 16
Tabelle 3: Doppelsternverzeichnis bekannter Doppelsterne 22
Tabelle 4: Übersicht der in der Arbeit behandelten Doppelsterne 22

Formel 1: Formel für Gravitationskraft 13
Formel 2: Formel für Zentrifugalkraft 13
Formel 3: Eigene Formel nach Gravitationskraft und Zentrifugalkraft 13
Formel 4: Winkelgeschwindigkeit 14
Formel 5: Eigene Formel erweitert um Winkelgeschwindigkeit 14
Formel 6: Eigene Formel gekürzt um m und geteilt durch r 14
Formel 7: Eigene Formel nach m umgestellt 14
Formel 8: 3. Keplersche Gesetz 14

1. Einleitung

Im Universum gibt es Milliarden von Sternen. Davon sind mehr als 90% aller Sterne einem Mehrfachsystem zugehörig. Diese Mehrfachsternsysteme können eine Vielzahl von einzelnen Sternen beinhalten, aber es gibt auch einfache Doppelsternsysteme, in welchen sich nur zwei Sterne umkreisen. Mehrfachsternsysteme sind in dieser Arbeit thematisiert.

1.1. Themenwahl

Doppelsterne kommen im Universum häufiger vor als Einzelsterne. 90% aller Sterne gehören zu einem Mehrfachsternsystem. Sechs Sterne können sich umkreisen und zusätzlich noch Planeten und Asteroiden in diesem Systemen vorhanden sein, wie z.B. bei Castor. Diese Faszination hat mein Interesse geweckt, mich näher mit Doppelsternen zu beschäftigen und bildet die Grundlage für die Themenwahl dieser Arbeit. Darüber hinaus war es mir wichtig, zusätzlich durch den Bau einer Blende in Hexaeder-Form, auch Sirius B zu fotografieren und durch Analysen Sirius als Doppelstern identifizieren zu können und die Position des Partnersternes durch Fotografie abzubilden. Inspiriert wurde ich durch meinen Physik Leistungskurs, in welchem wir die Himmelsmechanik bearbeitet haben. Zusätzlich haben wir im Projektkurs Astronomie einiges über die bestimmten Themengebiete der Astrofotografie gelernt. Dieses Erlernte soll in dieser Arbeit zusammen gefügt werden und weiter vertieft werden.

1.2. Aufgabenstellung und Zielsetzung der Arbeit

Aufgabe dieser Arbeit ist es, über Foto- und Videografie die Position des Partnersterns von Sirius im Doppelsternsystem zu bestimmen. Im praktischen Teil dieser Arbeit wird der Stern Sirius und zwei weitere Doppelsterne mit dem Teleskop beobachtet und die dabei aufgenommen Videos anschließend ausgewertet. Folgender Kriterien werden dazu herangezogen:

- Qualitätsverbesserung der Bilder

- Nord-Süd-Richtung anhand von Castor bestimmen und auf Sirius anwenden

- Bestimmung der Bogensekunden pro Pixel für Sirius, unter zu Hilfenahme von Literaturwerten des Doppelsternsystems Castor

- Positionsbestimmung des Begleiters von Sirius

Zusätzlich wird eine Blende in Hexaeder-Form für das C11 Teleskop gebaut, welche es ermöglichen soll Sirius B zu fotografieren.

Ziel dieser Arbeit ist es eine Möglichkeit zu finden den Begleiter von Sirius zu fotografieren oder zumindest genau zu bestimmen wo er sich befindet. Als Zusätzliche Leistung wird für interessierte Beobachter ein Verzeichnis mit den bekanntesten Doppelsternen zur Verfügung gestellt werden.

1.3. Gang der Arbeit

Im Anschluss an die Einleitung erfolgt eine Definition von Doppelsternsystemen und die dazugehörige theoretische Berechnung der Masse von Doppelsternsystemen. Auch wenn diese Berechnung nicht in die Auswertungen und Ergebnisse dieser Arbeit einfließt, soll sie dem Leser zur Vervollständigung der Größen in einem Doppelsternsystem dienen. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der Darstellung der Nord-Süd-Richtung und der Entfernung der Sternpartner in den gewählten Doppelsternsystemen. Im Folgenden werden die technischen Daten der genutzten Kameras und des genutzten Teleskops beschrieben. Im vierten Kapitel wird als zusätzliche Leistung der Bau einer Blende für das C11 Teleskop beschrieben und ein Doppelsternverzeichnis mit wissenswerten Daten zur Verfügung gestellt. Für die, die Arbeit betreffenden Doppelsterne wird dieses um weiterführende Größenangaben ergänzt. Darauf folgt der praktische Teil dieser Arbeit. Zuerst werden die Aufnahmebedingungen dargestellt und anschließend der Aufbau für die Beobachtungen und deren Durchführung, sowie die Bearbeitung der dabei entstanden Bilder. Im Kapitel 7.2. werden die daraus gewonnen Ergebnisse auf den Doppelstern Porrima angewendet. Dieses dient als Beweis für die Korrektheit der Daten, um diese dann im Kapitel 7.3. auf den Doppelstern Sirius anzuwenden. Abschließend werden die Ergebnisse zusammengefasst und eine Fehlerbetrachtung erstellt.

2. Theoretische Grundlagen

2.1. Definition von Doppelsternen

Doppelsterne sind zwei Sterne, die sich gegenseitig umkreisen. Doppelsterne kreisen um einen gemeinsamen Schwerpunkt, dieses kann auf sehr unterschiedlichen Umlaufbahnen erfolgen. Z.B. gibt es einen Stern, der das Baryzentrum[1] umkreist und dann gibt es einen weiteren der es ebenfalls umkreist, jedoch auf einer weiter außen liegenden Kreisbahn. Ähnlich wie die Planeten um unsere Sonne kreisen. In solchen Systemen ist der äußere Stern am schnellsten im Vergleich zu den anderen im System befindlichen Sternen. Es gibt allerdings auch ähnliche Systeme, in denen die Sterne das Baryzentrum in einer elliptischen Bahn umkreisen, wobei der massereichere Sterne stets auf der kleineren Ellipse um das Zentrum kreist. So kreuzen sich die Ellipsenbahnen der Sterne und sie sind manchmal ganz nahe beieinander und manchmal weit voneinander entfernt. Dieses sind beides Typen von gravitativ aneinander gebundenen Doppelsternen. Sie gehören damit zu den physischen Doppelsternen, welche wiederum in fünf Untergruppen aufgeteilt werden können. Zunächst die visuellen Doppelsterne, welche mit einem Hobbyteleskop und teilweise sogar mit bloßem Auge gut voneinander getrennt beobachtet werden können. Die teleskopische Doppelsterne, welche nur durch ein Teleskop zu betrachten sind. Doppelsterne, die auch mit Hilfe eines Teleskops nicht zu erkennen sind, aber anhand des Spektrums vermutet werden können, werden spektrokopische Doppelsterne genannt. Die fotometrischen Doppelsterne, sind nur anhand der Lichtkurve erkennbar, da sie sich zwar umkreisen, aber sich dabei so periodisch verdecken, dass der Begleiter nicht mehr wahrgenommen werden kann. Als fünfte Untergruppe lassen sich die astrometrischen Doppelsterne beschreiben, welche kaum wahrnehmbar sind, da der Hauptstern sehr hell und/oder der Begleiter nur sehr schwach leuchtet, sodass der hellere Stern den Begleiter überstrahlt. Neben den physischen Doppelsternen gibt es auch optische und geometrische Doppelsterne. Bei den optischen Doppelsternen stehen zwei Sterne fast am selben Punkt am Himmel, so dass sie sehr nahe beieinander wirken aber in Wirklichkeit ganz weit voneinander entfernt sind. Diese Wirkung entsteht, indem die Sterne hinter einander liegen und aus unterschiedlichen Blickrichtungen für den Betrachter so nebeneinander wirken. In Wirklichkeit sind die beiden Sterne aber weit voneinander entfernt. Zu guter Letzt ist zu den geometrischen Doppelsternen zu sagen, dass es sich um Einzelsterne handelt, die, weil alle Sterne in Bewegung sind, sich irgendwann sehr nahe kommen, aber trotz ihrer hohen Geschwindigkeit nicht kollidieren und ihre ursprüngliche Laufbahn nicht beeinflusst wird. Sie verschmelzen nicht zu einem gravitativ gebundenen Doppelstern, sondern ihre Flugbahnen kreuzen sich oder sie sind kurzfristig parallel zu einander.

[1] Das Baryzentrum beschreibt den gewichteten Schwerpunkt mehrerer Massekörper, auch Massenmittelpunkt genannt.

2.2. Allgemeine Größen und Werte von Doppelsternen

Masse, Leuchtkraft, Temperatur, Radius, mittlere Dichte, schwere Beschleunigung an der Oberfläche, Winkelgeschwindigkeit der Rotation und Stärke des Magnetfeldes sind alles Werte, welche bei Doppelsternen bestimmt werden können. Dabei ist die Masse besonders wichtig, weil sie zur Berechnung von Temperatur, Leuchtkraft und Radius benötigt wird. Die Masse kann anhand von Doppelsternen besonders leicht bestimmt werden, da zwei Fixpunkte am Himmel gegeben sind, welche nahe beieinander liegen. Somit wird kein weiterer Fixpunkt benötigt. Die Masse beschreibt eine Eigenschaft der Materie und wird in Kilogramm angegeben. Die Leuchtkraft definiert die, z.B. von einem Stern abgestrahlte Energie in Form von Licht. Die Temperatur ist eine physikalische Größe und gibt die Wärme in Grad Celsius oder als SI-Einheit in Kelvin an. Der Radius beschreibt den Abstand zwischen dem Mittelpunkt und der äußeren Schale eines Kreises oder einer Kugel. Die mittlere Dichte wiederum gibt das Verhältnis der Masse zum Volumen an. Die schwere Beschleunigung an der Oberfläche beschreibt die Gewichtskraft auf dem jeweiligen Planeten. Durch die Winkelgeschwindigkeit der Rotation wird in der Physik beschrieben, wie schnell sich ein Winkel mit der Zeit um eine Achse dreht. Zuletzt ordnet die Stärke des Magnetfeldes jedem Körper eine Stärke und Richtung zu.

2.3. Berechnung der Masse eines Doppelsternsystems

Zur Berechnung der Masse von Sternen kann zunächst das Gravitationsgesetzt angewendet werden, da es sich bei einem Doppelsternsystem um mehrere Massen beim einem Doppelsternsystem handelt. Annahme dafür ist, dass es sich um eine Kreisbahn handelt und nicht um eine Ellipse, wie es eigentlich der Fall ist. Die Formel dafür lautet wie folgt:

$$F = G\frac{m1m2}{r^2}$$

Formel 1: Formel für Gravitationskraft

Daraus abgeleitet ergibt sich, dass die Gravitationskraft gleich der Zentrifugalkraft ist, da die Gravitationskraft zum Masseschwerpunkt zieht, welcher sich in der Mitte einer Kreisbahn befindet. Außerdem gilt für eine normale Kreisbahn:

$$F = mr\omega^2$$

Formel 2: Formel für Zentrifugalkraft

Zusammengefasst ergibt dies:

$$mr\omega^2 = G\frac{m1m2}{r^2}$$

Formel 3: Eigene Formel nach Gravitationskraft und Zentrifugalkraft

In Formel 3 wird nun Omega mit der Formel für die Winkelgeschwindigkeit

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Formel 4: Winkelgeschwindigkeit

ersetzt, dadurch ergibt sich Folgendes:

$$mr\frac{(2\pi)^2}{T^2} = G\frac{m1m2}{r^2}$$

Formel 5: Eigene Formel erweitert um Winkelgeschwindigkeit

Gekürzt durch Masse, unter der Voraussetzung, dass m=m1=m2 ist, und geteilt durch den Radius:

$$\frac{(2\pi)^2}{T^2} = G\frac{m}{r^3}$$

Formel 6: Eigene Formel gekürzt um m und geteilt durch r

Umgestellt zur Masse:

$$m = \frac{r^3}{T^2}\frac{(2\pi)^2}{G}$$

Formel 7: Eigene Formel nach m umgestellt

Ergibt sich eine Formel für m, welche die Masse eines kompletten Doppelsternsystems angibt, runter gebrochen auf die darin befindlichen Sterne. Gegebenenfalls vorhandene Planeten bleiben unberücksichtigt. m wäre also m=m1+m2, da es sich in einem Doppelsternsystem um zwei Sterne handelt. Bestandteil dieser Formel ist das 3. Keplersche Gesetzt, nämlich:

$$\frac{r^3}{T^2} = const.$$

Formel 8: 3. Keplersche Gesetz

Mit einer komplexen Rechnung kann auch die genaue Masse von einem der beiden Sterne bestimmt werden, dies ist jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit.

3. Allgemeine Informationen

3.1. Technische Daten zum Teleskop

Teleskop	Celestron Edge 11 HD
Durchmesser der Öffnung	280mm
Brennweite	2800mm
Auflösungsvermögen	0,5‘‘
Lichtsammelvermögen	1593x
Tubuslänge	610mm
Gewicht	12,7kg

Tabelle 1: C11 Teleskop

Das C11 Teleskop hat zwei Spiegel eingebaut, einmal den Hauptspiegel und einmal den Fangspeigel, sodass eine längere Brennweite erzeugt wird. Der Hauptspiegel kann mit einem Rädchen nach vorne und hinten verschoben werden damit das Bild so scharf gestellt werden kann. Optional kann das Teleskop zum Hyperstar umgebaut werden, so dass der Beobachter nur einmal spiegeln muss. Dagegen ist die Brennweite dann nicht mehr so lang. Dieses eignet sich besonders gut für Breitbildaufnahmen, weil so ein größeres Gesichtsfeld entsteht. Diese Aufnahmen werden in dieser Arbeit nicht benötigt.

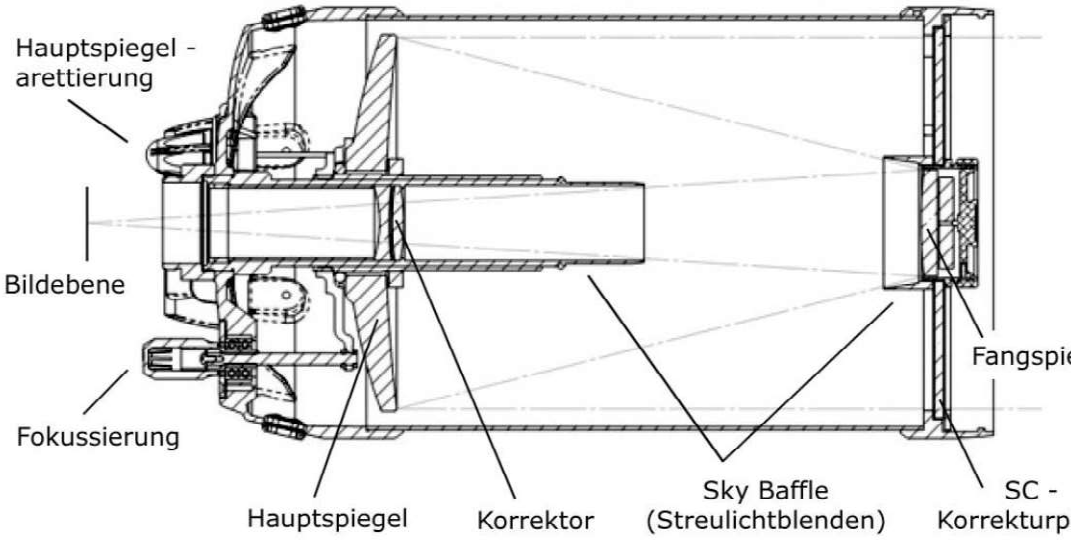

Abbildung 2: Querschnitt eines C11 Teleskops

3.2. Technische Daten zu den Kameras

DMK41AU02

Allgemeines Verhalten	
Empfindlichkeit	0,05 lx
Dynamikbereich	8 bit
Videoformate @ Bildrate (Maximum)	1.280×960 (1,2 MP) Y800 @ 15 fps
Schnittstelle (optisch)	
IR-Sperrfilter	nein
Sensor-Typ	CCD
Sensor-Spezifikation	Sony ICX205AL
Shutter	global
Format	$^{1}/_{2}$ inch
Auflösung (maximum)	H: 1.280 px, V: 960 px
Bildwiederholrate (maximum)	15 fps
Pixel-Grösse	H: 4,65 µm, V: 4,65 µm
Objektivanschluss	C/CS
Schnittstelle (elektrisch)	
Schnittstelle	USB 2.0 vorwärtskompatibel
Versorgungs-Spannung	4,5 VDC zu 5,5 VDC
Versorgungs-Spannung	ca. 500 mA @ 5 VDC
Autoiris-Steuerung	
Trigger	
I/Os	
Schnittstelle (mechanisch)	
Abmessungen	H: 50,6 mm, B: 50,6 mm, L: 56 mm
Gewicht	265 g
Anpassungen	
Shutter	$^{1}/_{10.000}$ s zu 30 s
Verstärkung	0 dB zu 36 dB
Weißabgleich	-2 dB zu 6 dB
Umgebung	
Temperatur (in Betrieb)	-5 °C zu 45 °C
Temperatur (Lagerung)	-20 °C zu 60 °C
Luftfeuchtigkeit (in Betrieb)	20 % zu 80 % (nicht kondensierend)
Luftfeuchtigkeit (Lagerung)	20 % zu 95 % (nicht kondensierend)

Tabelle 2: Kamera DMK41AU02

DBK21AU04

Auslieferung ohne Objektiv

- **USB CCD-Farbkamera**
- 1/4 " Sony CCD, Progressive Scan
- 640x480 Pixel
- Bis zu 60 Bilder/s
- Software im Lieferumfang

290,00 €

ANGEBOT ANFORDERN

oder Rufen Sie uns an
+49 (0)421 335 91 0

SPEZIFIKATION | DOKUMENTATION | TREIBER UND SOFTWARE

ALLGEMEINES VERHALTEN

Video-Formate @ Bildrate	640x480 UYVY @ 30, 15, 7.5, 3.75 fps 640x480 BY8 @ 60, 30, 15, 7.5, 3.75 fps
Empfindlichkeit	0.10 lx
Dynamikbereich	8 bit
SNR	ADC: 9 bit bei 25°C, Verstärkung 0 dB

SCHNITTSTELLE (OPTISCH)

IR-Sperrfilter	ja
Sensor-Spezifikation	ICX098BQ [671.36 KB]
Typ	Progressive Scan
Format	1/4 "
Auflösung	H: 640, V: 480
Pixel-Grösse	H: 5.6 µm, V: 5.6 µm
Objektivanschluss	C/CS

SCHNITTSTELLE (ELEKTRISCH)

Versorgungs-Spannung	4.5 bis 5.5 VDC
Stromaufnahme	ca. 500 mA bei 5 VDC

SCHNITTSTELLE (MECHANISCH)

Abmessungen	H: 50.6 mm, B: 50.6 mm, L: 50 mm
Gewicht	265 g

EINSTELLUNGEN (MAN)

Belichtungszeit	1/10000 bis 30 s
Verstärkung	0 bis 36 dB
Offset	0 bis 511
Sättigung	0 bis 200 %
Weissabgleich	-2 dB bis +6 dB

Abbildung 3: Kameradaten für DBK21AU04

4. Zusatzleistung

4.1. Bau einer Blende für das C11-Teleskop

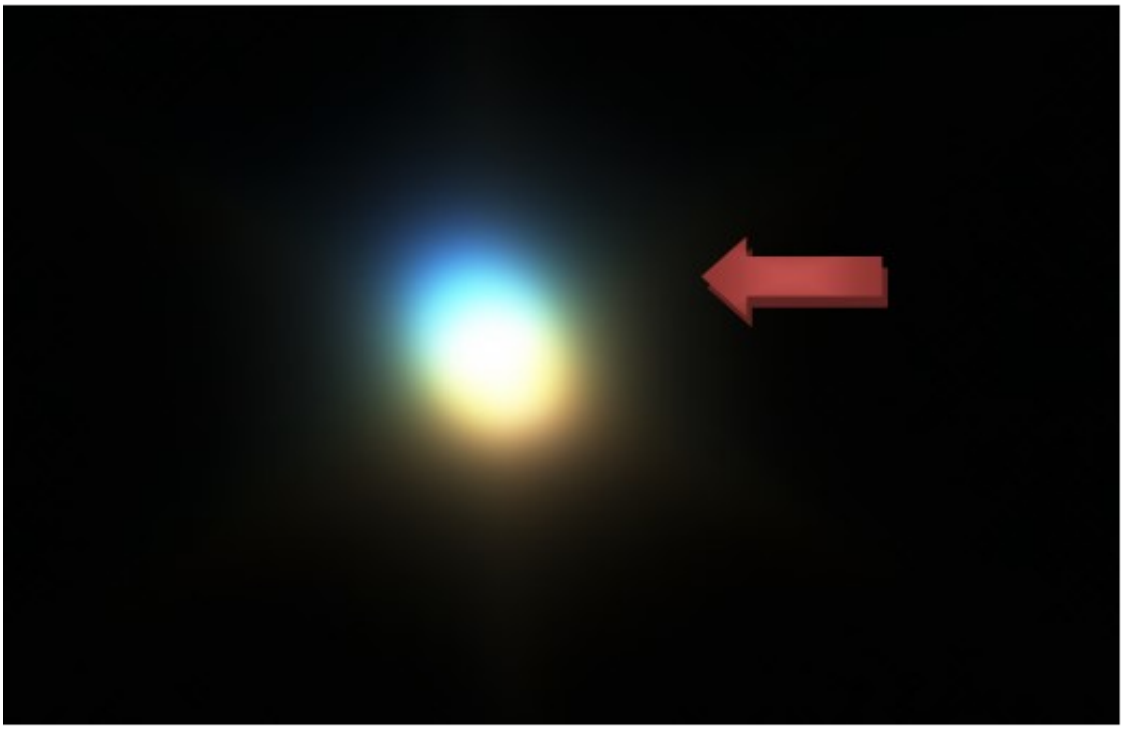

Abbildung 4: Sirius mit Leuchtspitzen (Spitzen sind ganz schwach zu erkennen)

Sirius, der hellste Stern am Abendhimmel, gehört zu einem Doppelsternsystem, obwohl sein Partnerstern nicht ohne weiteres beobachtet werden kann. Sirius ist so hell, dass er ihn einfach überstrahlt. Nachforschungen haben aber ergeben, dass mit bestimmten Blenden oder Streben das ausgehende Licht von Sternen gestreckt werden kann, so-dass, je nachdem wie viele Streben oder Kanten in der Blende sind, der Stern mit vier oder sechs wegführenden Spitzen versehen ist, zwischen denen sich ein relativ scharfer Leerraum befindet. Die Blende kann so lang verschoben werden bis der Sternpartner in einem der Leerräume zu erkennen ist. So kann der Beobachter scheinbar unsichtbare Sternpartner doch noch entdecken. Deshalb wurde für diese Arbeit eine solche Blende selber entworfen und gebaut.

Abbildung 5: Maße der selbstgebauten Blende 1

Abbildung 6: Maße der selbstgebauten Blende 2

Folgend sind für die Blende die genauen Abmessungen für ein C11-Teleskop und die Vorgehensweise angegeben:

- Durchmesser: 30,7 cm (Abbildung 6)

- Abstand von einer Kante des Sechsecks zum äußeren Kreis: 1,6 cm (Abbildung 5)

- Länge einer Seite des Sechsecks: 13,7 cm (Abbildung 6)

- Länge und Breite des eingekerbtem Lochs: 0,5 cm (Abbildung 5)

Die Blende wurde mit Hilfe einer CNC-Fräsmaschine ausgeschnitten, da diese am präzisesten arbeitet und die im Compuer erfassten Werte sauber umsetzt. Dabei ist aber zu beachten, dass das Material, aus dem die Blende gefertigt werden soll, gut fixiert wird, damit sie bei diesem Vorgang nicht verutscht und das Holz nicht in Vibration gerät und möglicherweise splittert. Der Maschinenführer sollte den Vorgang genau überwachen um im Notfall die Maschine stoppen zu können. Genauso kann diese Blende auch von Hand ausgesägt werden. Dieser Vorgang ist nur wesentlich aufwendiger und ungenauer.

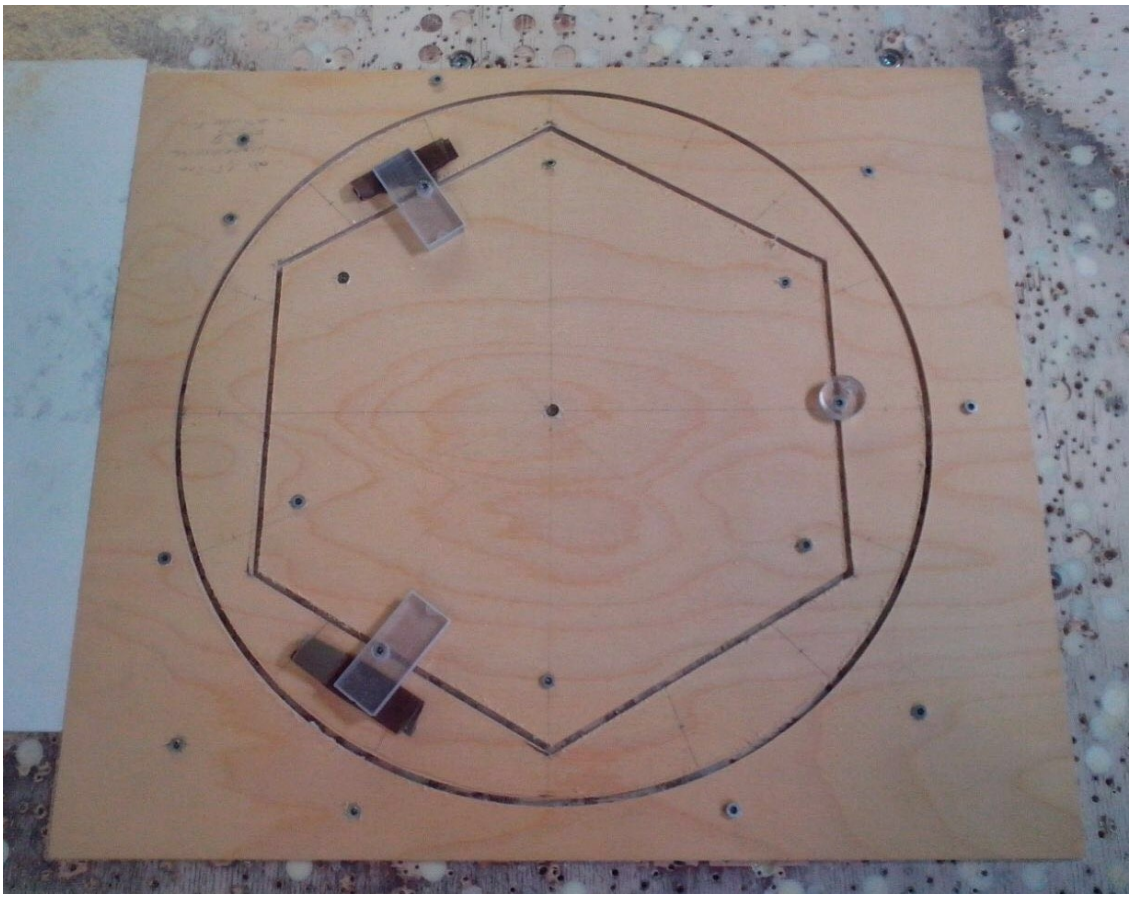

Abbildung 7: Ausfräsungen der Blende

Nach dem Ausfräsen wurde kontrolliert, ob die Blende auch genau in das C11 Teleskop passt. Für Feinheiten kann noch mit einer Feile nachgearbeitet werden. Zu diesem Zeitpunkt wurde festgestellt, dass das C11-Teleskop zwei kleine Schrauben, in denen die Abhängung eingehangen wird, vor dem Objektiv hat, sodass die Blende nicht davor passt, ohne wieder heraus zu fallen. Deshalb wurde eine Nut an einer entsprechenden Stelle gefeilt um die optimale Passgenauigkeit zu erreichen. Da die Blende nur an einer Seite eine Nut hat, es am Teleskop aber zwei Schrauben gibt, wird die Blende so eingelegt, dass zunächst die gegenüberliegende Seite der Nut an der ersten Schraube dran vorbei geführt und dann die zweite Schraube durch die Nut geschoben wird. So wird automatisch die Blende durch die Schrauben fixiert und kann nicht herausfallen.

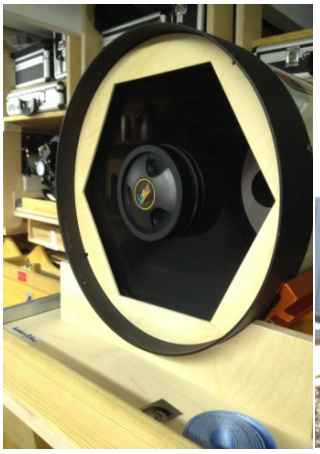

Abbildung 9: Montierte Blende ohne Lackierung

Abbildung 8: Montierte Blende im Endzustand

Abbildung 10: Ausfräsung für Passgenauigkeit

Nun kann die Blende einwandfrei gedreht werden ohne dass sie herausfällt, auch wenn das Teleskop geschwenkt wird. Zu Letzt wurde die Blende noch mit einem lichtabsorbierenden, schwarzen und wetterfesten Lack versehen damit in keinem Fall die Blende bei nächtlichen Beobachtungen Wasser aufsaugt. Wenn die gebaute Blende aus Metall bestehen sollte, könnte sie, ohne die Lackierung, anfangen zu rosten. Bei späteren Beobachtungen muss noch darauf geachtet werden, dass der Beobachter nicht zu stark am Teleskop rüttelt, wenn die Blende gedreht werden soll, da der Stern aus dem Bild verschwinden könnte und er dann wieder neu zentriert werden muss. Grundsätzlich sollte die Blende mit diesen Abmessungen sehr leicht zu drehen sein.

Die Blende war während der gesamten Aufnahmen für diese Arbeit montiert.

4.2. Doppelsternverzeichnis

In diesem Kapitel wird eine Tabelle mit Daten von fünf bekannten visuellen Doppelsternen und eine Tabelle mit weiteren Angaben zu den in dieser Arbeit bearbeiteten drei Doppelsternen, Castor, Sirius und Porrima, dargestellt.

Name	Bezeichnung	Winkel-abstand der Kom-ponenten (arcsec)	Positi-ons-winkel (Grad)	Spektraltypen	Helligkeit (Mag)
Alpha Centauri	HIP 71683 (A) HIP 71681 (B)	10,5	230	G2V für A K1V für B	0,14 für A 1,24 für B
Rigel	Beta Orionis	9,5	202	B8 für A Unbekannt für B	0,1 für A 6,8 für B
Albireo	Beta Cygni	34	54	K0 für A B9 für B	3,4 für A 5,1 für B
Alamak	Gamma Andromedae	9,6	63	K3 für A Unbekannt für B	2,1 für A 5,3 für B
Mizar	Zeta Ursae Maioris	14,4	153	A2 für A A2 für B	2,3 für A 4,0 für B

Tabelle 3: Doppelsternverzeichnis bekannter Doppelsterne

Name	**Castor**	**Porrima**	**Sirius**
Bezeichnung	Alpha Geminorum	Gamma Virginis	Alpha Canis Maioris
Sternbild	Zwilling	Jungfrau	Großer Hund
Masse (Sonnenmassen)	2,15 für A 1,7 für B	1,55 für A 1,55 für B	2,1 für A 0,97 für B
Entfernung (pc)	16	12	2,64
Positionswinkel (Grad)	Ca. 52	Ca. 175	Ca. 70
Winkelabstand der Komponenten (arcsec)	5	2,6	10,5
Spektraltypen	A1 für A A2 für B	F0 V für A F0 V für B	A1 für A Unbekannt für B
Scheinbare Helligkeit (Mag)	1,9 für A 2,9 für B	2,7 für A 2,7 für B	-1,5 für A 8,5 für B
Oberflächen Temperatur (Kelvin)	9200 für A 8900 für B	6700 für A 6700 für B	10000 für A 25000 für B

Tabelle 4: Übersicht der in der Arbeit behandelten Doppelsterne

5. Aufnahmebedingungen

5.1. Wetterbedingungen

Am bedeutendsten für eine astronomische Beobachtung ist die Wetterlage. Da durch Regen, Schnee usw. die Sicht beeinträchtigt werden kann und sogar die Gerätschaften beschädigt werden könnten. Deshalb sollten Beobachtungen möglichst an schönen und klaren Tagen stattfinden. Außerdem kann es passieren, dass die Sternwarte bei Schnee und Eis für einen oder mehrere Tage geschlossen wird. Auch zu beachten sind die Wolken, welche die Sterne bedecken können. Deshalb sollte der Beobachter immer über die genaue Wetterlage informiert sein. Auch kann es passieren, dass ein Flugzeug in das Aufnahmefeld des Sternes fliegt und so das Bildmaterial unbrauchbar wird. Die durch das Flugzeug abgegebene Abgaswolke kann ebenfalls zu einer Beeinträchtigung der Bilder führen. Ebenso entscheidend kann die Windstärke sein. Bei zu starkem Wind können Teile des Teleskopes beschädigt oder verbogen werden. Darüber hinaus kann es zu Schwankungen des Teleskopes kommen, wodurch der Beobachter keine klare Sicht auf einen Stern hat. Außerdem nicht zu vernachlässigen ist das Seeing, welches die Luftunruhen angibt. D.h., dass das Seeing eine Verschlechterung der Bildschärfe bewirkt. Diese entsteht durch Turbulenzen in den Luftschichten der Erdatmosphäre wodurch das ankommende Licht abgelenkt wird. Als Beobachter wird dieses als das typische Funkeln der Sterne wahrgenommen. Es ist ähnlich wie bei heißem Asphalt, über dem die aufgeheizte Luft schimmert und die Straße optisch verzerrt und breiter werden lässt. Auch die Wetterlage hat Auswirkung auf das Seeing, da der Rücken von starken Kaltfronten auch starke Turbulenzen mit sich bringt. Auch der Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht hat Auswirkungen darauf. Bei der Aufnahme der Bilder für diese Arbeit war es kalt, wodurch das Seeing nicht sehr gut war, aber es war trocken und keine Wolken am Himmel zu sehen, sodass die Bedingungen für die Beobachtung zwar nicht perfekt aber doch gut genug waren, um beobachten zu können. Durch den Wind am Tag der Aufnahmen sind auf den Videos leichte Schwankungen der Kameras wahrzunehmen.

5.2. Auswirkung der äußerlichen Lichtverhältnisse

Es gibt mehrere störende Umstände, die das Aufnehmen von Deep Sky Objekten[2] erschweren. Darunter hauptsächlich die Lichtverhältnisse. Zunächst werden die Lichtverhältnisse von den großen Städten in der Umgebung negativ beeinflusst. Sie erhellen mit ihren Reklametafeln, Straßenbeleuchtungen und anderen ständig beleuchteten Gebieten unseren Himmel und so werden nicht so leuchtintensive Sterne überdeckt. Für die Beobachtung in Wuppertal ist dieses ein sehr großer Nachteil, weil die Stadt mitten in einem Ballungszentrum der Städte in NRW liegt. Zusätzlich stören Fabriken und andere

[2] Deep Sky Objekte sind Himmelsobjekte, die außerhalb unseres Sonnensystems liegen und dabei mehr als einen Stern besitzen (Sternhaufen, Galaxien, usw.)

Anlagen in unmittelbarer Umgebung die Lichtverhältnisse. So z.B. einige große Firmen und vor allen die Müllverbrennungsanlage direkt vor dem CFG. Sie strahlt nicht nur Licht, sondern auch Wärme und Abgase aus, sodass das Bild zusätzlich verschlechtert und unscharf wird. Dieses kann auch Fall sein, wenn sich das zu beobachtende Objekt zu nah am Horizont befindet und so das Bild aufgrund der Erdkrümmung zu sehr verzogen wird. Davon abgesehen spielt der Mond auch eine entscheidende Rolle, denn er ist das hellste Objekt am Nachthimmel und beeinflusst so die Aufnahmen sehr stark. Für die Beobachtungen dieser Arbeit spielte dieses aber kaum eine Rolle, da die drei zu betrachtenden Doppelsterne hell genug und mit bloßem Auge am Himmel zu sehen sind. Zudem stand der Mond noch nicht voll am Himmel, so dass die Aufnahmen nicht durch seine volle Leuchtkraft beeinträchtigt wurden.

5.3. Beobachter

Als Beobachter habe ich mich genau auf die Aufnahmenacht vorbereitet, indem ich ausgeruht, mit warmen Sachen bekleidet, und voller Motivation ans Werk gegangen bin. Dafür habe ich mich schon Tage vorher genau damit auseinander gesetzt, wie ich die Teile des Teleskops, zum Aufnehmen von Doppelsternen, anbringen muss und wie und ob die Programme der Kameras funktionieren, sodass ich einen reibungslosen Ablauf hatte und möglichst zügig die Videos aufnehmen konnte.

6. Beobachtungen und Bildbearbeitung

6.1. Aufbau für die Beobachtungen im Deep Sky

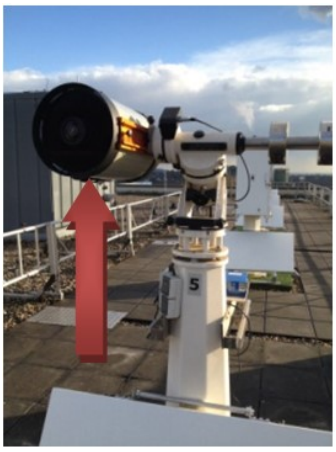

Abbildung 11: C11 Teleskop

Zunächst wurde die Halterung des Teleskopes, welche von einer Box mit eingebauter "Heizung" umschlossen wird, sodass es vor Wind und Wetter geschützt ist, überprüft, ob irgendwo sichtbare Schäden vorhanden sind. Da keine Schäden erkennbar waren wurde das eigentliche Teleskop (C11) aus dem Lager geholt und vorsichtig auf die Halterung (900GTO Montierung) montiert, sodass die Öffnung in den Himmel zeigt (Abbildung 11). Dieses sollte mit zwei Personen montiert werden, weil das Teleskop schwer ist und es sonst Schwierigkeiten bei der Montage der Schrauben zur Befestigung geben kann. Die Halterung hat zwei Achsen, welche unabhängig voneinander mit Motoren gedreht werden können, um eine optimale Ausrichtung zum Himmelsobjekt zu gewährleisten. Wichtig ist, dass die Gewichte, eins nach ganz hinten und eins auf die Mitte gestellt werden, damit kein Übergewicht auf der Seite des Objektives entsteht. Diese Gewichte sind ca. 4,5 Kilogramm schwer. Für die Stromversorgung des Teleskopes wird ein Trafo (Abbildung 12) als Verbindung zwischen Steckdose und dem Teleskop verwendet.

Abbildung 13: horizontale Ausrichtung des Teleskopes

Abbildung 12: Trafo und Bedienelement (rechts), Anschlussstelle für Trafo und Bedienelement an 900GTO Montierung (links)

Zur Bedienung des Teleskopes wird über die Trafoanschlussstelle des Teleskopes ebenfalls ein Bedienelement angebracht, so dass das Teleskop darüber gesteuert werden kann. Über das Bedienelement kann das Teleskop so justiert werden, dass weitere Elemente einfacher angebracht werden können. Speziell für die Montage gibt es eine Schnellwahltaste im Menü, sie heißt "Parkposition". Daraufhin konnten die Kameras angebracht werden. Am besten eignen sich zur Beobachtung von Doppelsternen die DBK 21AU04 als Farbkamera und die DMK 41AU02 als Schwarz-Weiß-Kamera. Bei-

de haben einen USB-Anschluss, um mit dem PC verbunden zu werden. Zusätzlich kann noch, für den Betrachter, an der rechten Seite des Teleskops (Abbildung 11) ein Sucher angebracht werden, welcher hilft den gewünschten Planeten oder Doppelstern vorher manuell per Auge anzupeilen. Dies ist aber nicht zwingend notwendig, da die meisten Sterne und Planeten schon in der Menüauswahl des Bedienelements zu finden sind und das Teleskop automatisch in die richtige Position fährt.

Abbildung 14: Schnittstelle zum PC (links), Aussehen der Kameras (Mitte links), Montierung der Kamera am Teleskop (Mitte), Montierte Kamera am Teleskop mit PC Verbindung (rechts bzw. Mitte rechts)

Die Kameras kann mit bestimmen Befestigungsringen an das Objektiv geschraubt werden. Je nachdem wie klein die Kameraöffnung ist müssen teilweise auch mehrere Ringe aufeinander gesetzt werden. Dabei sollten die Verschlüsse zwar so fest verschraubt werden, dass sie sich nicht mehr verschieben, wenn das Teleskop sich bewegt, aber sie trotzdem immer noch gut abzumontieren sind. Es empfiehlt sich vor der Montage der Kameras kurz mit einer normalen Linse zu testen, ob die Sicht gut genug ist und ob das Teleskop einwandfrei scharf gestellt werden kann. Für diesen Vorgang kann an einem beliebigen Stern oder dem Mond getestet werden. So kann ebenfalls, bei dem starken Lichteinfall, festgestellt werden ob die Linse verschmutzt ist und zum beobachten gesäubert werden sollte. Während der Beobachtung sollte die Linse immer neben dem Teleskop liegen, um sie wieder gegen die Kamera zu tauschen und noch mal mit dem Auge scharf zu stellen. Dieses bietet eine Alternative zur Justierung am Computer, da es auf dem Bildschirm manchmal schwieriger zu erkennen ist. Für die Beobachtungen zu dieser Arbeit wurde diese Vorgehensweise bevorzugt. Wichtig ist, drauf zu achten, dass das Teleskop nicht zu sehr bewegt bzw. berührt wird, da die Positionseinstellungen sich sonst versehentlich verändern könnten.

Für den Aufbau des Computers kann am Teleskop ein Tisch hochgeklappt werden. Der Computer wird über die Kamera mit dem Teleskop verbunden und es wird automatisch ein Live-Bild auf dem Bildschirm erzeugt, so dass der Beobachter sofort erkennen kann, ob sich der Stern auch wirklich genau in der Mitte des Objektives befindet. Das Computerprogramm muss dafür vorinstalliert sein, ansonsten wird es automatisch heruntergeladen. Dieses kann ein paar Minuten dauern. Der Computer kann über Steckdosen am Fuß des Teleskopständers mit Strom versorgt werden. Ebenfalls ist hier ein LAN-Anschluss für das LAN-Kabel vorhanden. Für eine angenehmere Beobachtung können die Beobachter sich noch ein paar Stühle besorgen, um nicht die ganze Zeit stehen zu müssen. Für einen plötzlichen Wetterumschwung sollte eine Alufoliendecke griffbereit

liegen, um diese über den Laptop legen zu können, damit er nicht nass oder gar bei schwerem Hagel beschädigt wird.

Abbildung 15: Feuchtigkeitsschutzfolie (links), Stromversorgung und PC (rechts)

Für die Beobachtung der Doppelsterne wurde eine vorher selbst gefertigte Blende (siehe Kapitel 4.1.) vor die Linse des Teleskops eingesetzt. Die Beobachter sollten besonderen Wert auf die Ordnung und Verwahrung der einzelnen Abdeckungen und Teile nehmen, damit nichts verloren geht und das Teleskop in einem gutem Zustand bleibt. Dafür stand ein extra Wagen bereit, in dem alles verstaut werden konnte und auch die einzelnen Bauteile und Kameras aufbewahrt wurden.

6.2. Durchführung der Messung

Am Winterhimmel gibt es viele Doppelsterne zu beobachten. In dieser Arbeit werden aufgrund der Vielzahl von Doppelsternen nur die Doppelsterne Sirius, Castor und Porrima beobachtet. Im ersten Schritt wurden zunächst Videos von den Doppelsternen aufgenommen. Teilweise in schwarz/weiß, damit ein besserer Kontrast entsteht und so schärfere Umrisse zu erkennen sind. Außerdem entsteht ein besseres Endbild und beim Stacken ergibt sich ein optimaleres Ergebnis. Durch einen Vergleich mit den farbigen Aufnahmen wurde diese Vorgehensweise jedoch verworfen, da die Bilder auch in Farbe sehr scharf waren und die Farben später besser zu begutachten sind.

Zunächst wurde mit dem Zielfernrohr der Stern, in diesem Falle Sirius, fokussiert und dann erst mit dem eigentlichen Teleskop heran getastet, bis der Stern im Mittelpunkt des Okulars zu erkennen war. Dieses kann auch manuell über das Bedienelement erfolgen. Alternativ sind verschiedene Sterne im Archiv des Bedienelementes gespeichert und der Beobachter muss einfach die Taste für den bestimmt Stern anklicken und das Teleskop fährt selber in die entsprechende Ausrichtung. Für eine klare Sicht muss der Beobachter das Teleskop noch von Hand scharf stellen. Nach diesem Vorgang kann mit dem Bedienungselement das Teleskop so einstellen werden, dass es dem Stern die ganze Zeit folgt, so dass der Beobachter nicht selber nachjustieren braucht, während die Videos mit den angebrachten Kameras aufgenommen werden.

Das Aufnehmen erfolgt über einen PC, indem sich ein Fenster auf diesem öffnet, auf dem eine Liveübertragung der Kamera zu sehen ist. Dazu muss die Kamera über ein USB-Kabel mit dem PC verbunden sein, dann sollte sich das Fenster automatisch öffnen. Nun kann über dieses Fenster an der Belichtungszeit, Schärfe usw. Einstellungen vorgenommen werden. Während der Beobachtungen wurden sechs Videos erstellt, zwei von jedem der drei Doppelsterne. Einmal ein ganz normales Video, bei denen sich der Stern im Zentrum des Objektives befand, und einmal ein Video bei dem der Stern, durch Steuerung über das Bedienungselement, manuell vom linken Bildrand an den rechten Bildrand gewandert ist. Mit diesem Video kann später die Nordsüdrichtung bestimmt werden, welche eine entscheidende Rolle beim der Ortung des Begleiters von Sirius, Sirius B, spielen wird.

6.3. Entstandene Rohbilder

Aus den Videos entstandene Rohbilder:

Abbildung 16: Castor links

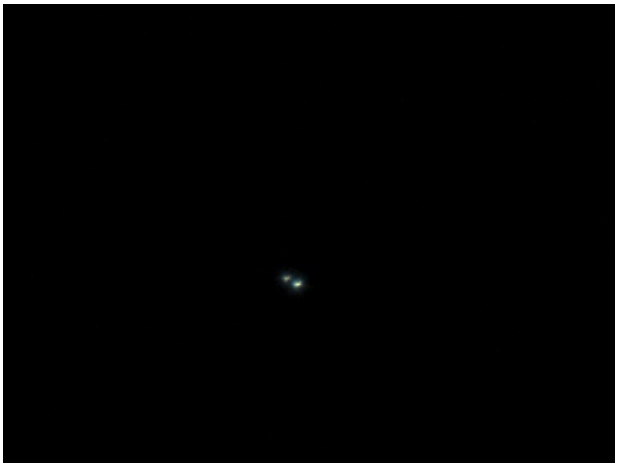

Abbildung 17: Castor zentral

Abbildung 18: Castor rechts

Abbildung 19: Porrima links

Abbildung 20: Porrima zentral/rechts

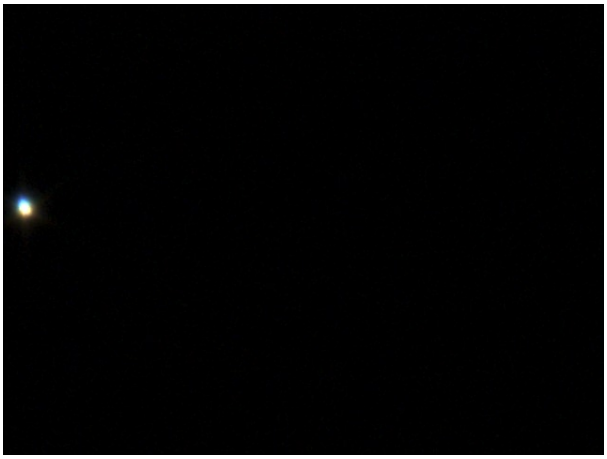

Abbildung 21: Sirius links

Abbildung 22: Sirius zentral

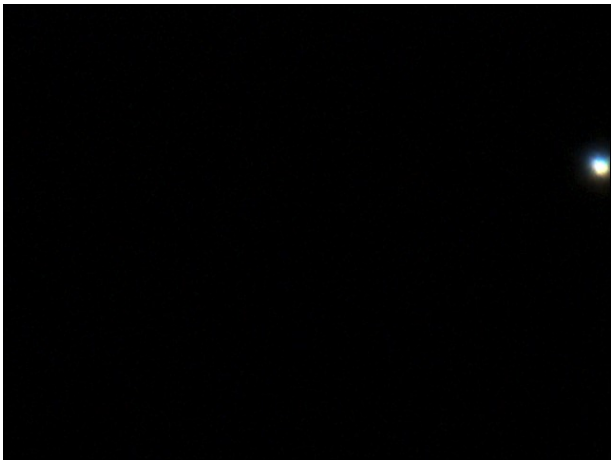

Abbildung 23: Sirius rechts

6.4. Bearbeitung der Rohbilder/Videos

6.4.1. Stacking der Videos

Im ersten Schritt werden die Sternvideos mit den zentrierten Sternen im Programm Giotto bearbeitet. Um die Videos zu stacken, d.h. ein Zusammenfügen aller entstandener Bilder eines Videos zu einem Foto mit besserer Qualität, muss zunächst das Programm Giotto geöffnet werden.

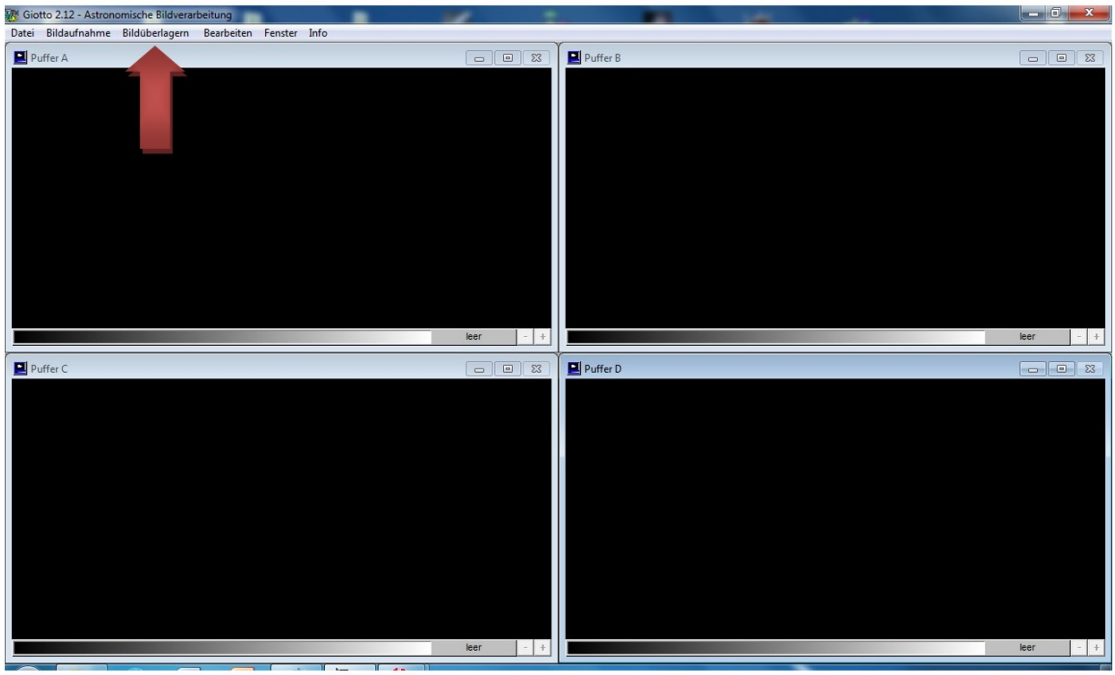

Abbildung 24: Giotto Startfenster

Wenn das Programm geöffnet ist, muss oben links auf "Bildüberlagern/Überlagere Bilder (Giotto Classic)" geklickt werden, um ein Fenster zu öffnen in dem das Video gestackt werden kann. Nun müssen die Häkchen genauso wie auf dem Bild rechts (Abbildung 25) gesetzt werden. Wichtig dabei ist, dass bei "Anpaßmethode" das Häkchen auf jeden Fall bei "Paßmuster..." gesetzt ist. Andernfalls würden die Bilder nicht korrekt angepasst werden. Außerdem muss ein Häkchen bei "Rohbildquali-

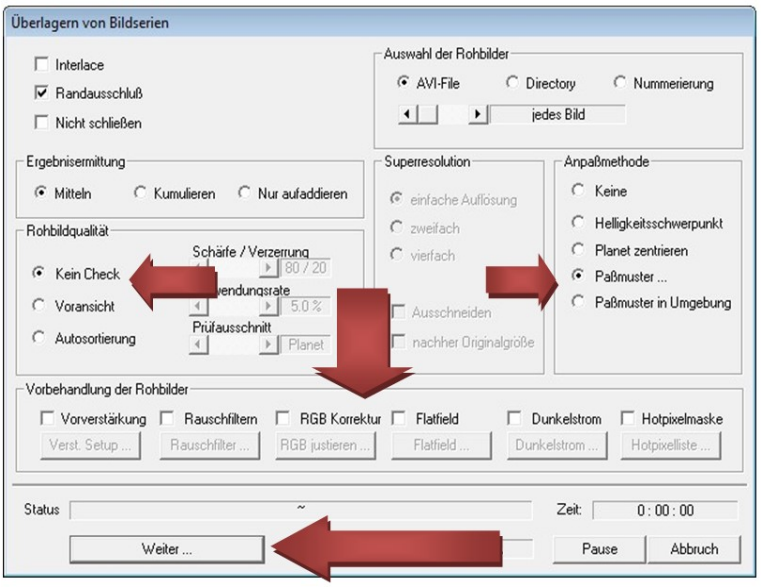

Abbildung 25: Bildüberlagerung durch Giotto (stacken)

tät/Kein Check" gesetzt werden, da alle Bilder verwendet werden sollen, egal wie scharf die Aufnahmen sind. Außerdem werden die Bilder nicht vorbehandelt, also ist darauf zu achten, dass unter der Rubrik "Vorbehandlung der Rohbilder" keine Häkchen gesetzt sind. Nachdem dieses alles abgeschlossen ist, muss auf "Weiter" geklickt werden. Daraufhin wird ein weiteres Fenster geöffnet (Abbildung 26). Hier mussten keine weiteren Änderungen vorgenommen werden. Über die "Auswahl" der Bildquelle kann das gewünschte Video geladen werden.

Abbildung 26: Laden des gewünschten Videos

Es öffnet sich wiederrum ein neues Fenster, welches die auf dem Computer gespeicherten Dateien anzeigt (Abbildung 27).

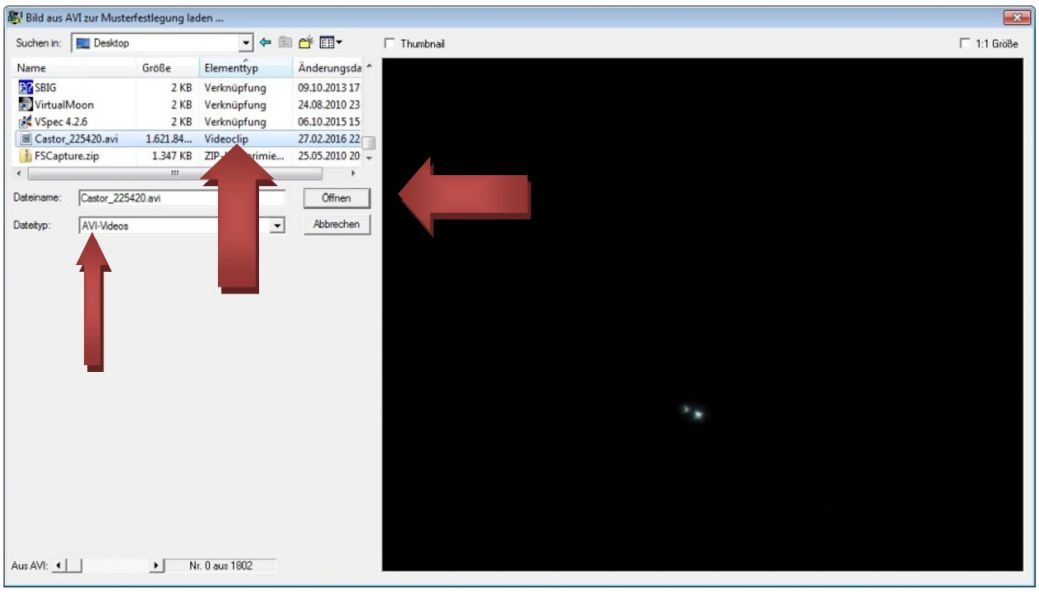

Abbildung 27: Auswahl des gewünschten Videos

Die gewünschte Datei sollte im Format AVI abgespeichert sein, um das Video auswählen zu können und über den Button "Öffnen" zu bestätigt.

Nachdem das Video entsprechend geladen wurde erfolgt über den Button "Weiter", in einem neuen Fenster, die Auswahl der zu stackenden Datei.

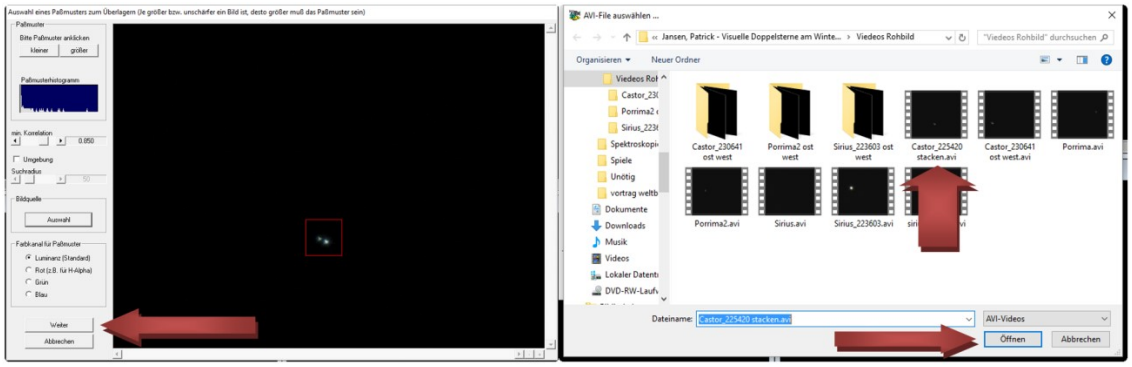

Abbildung 28: Auswahl des zu stackenden Videos

Dabei ist wichtig, dass der Dateiname nicht verändert wird, weil sonst das schon geladene Video nicht mit der ausgewählten AVI-Datei übereinstimmt. Mit "Öffnen" wird dieses bestätigt. Daraufhin kehrt die Ansicht automatisch zu dem ursprünglichen Fenster zurück. Nun stacked das Programm das Video zu einem Bild zusammen. Dies kann anhand der prozentualen Leiste nachvollzogen werden und kann ein paar Minuten dauern (Abbildung 29).

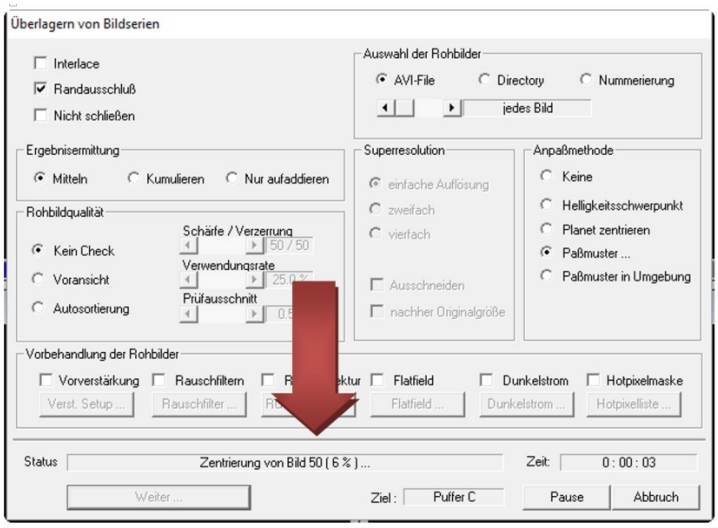

Abbildung 29: Ladevorgang

Außerdem wird angezeigt wie viel Zeit schon vergangen ist und in welche Bildfläche das Programm das fertige Bild zieht. Meist ist das der erste freie Puffer. Zur Not kann der Vorgang jederzeit abgebrochen oder angehalten werden. Wenn das Video fertig zu einem Bild gestacked wurde, kann es in einem der kleinen vier Bildflächen von Giotto, den Puffern, wiedergefunden werden und das Bild kann gespeichert werden.

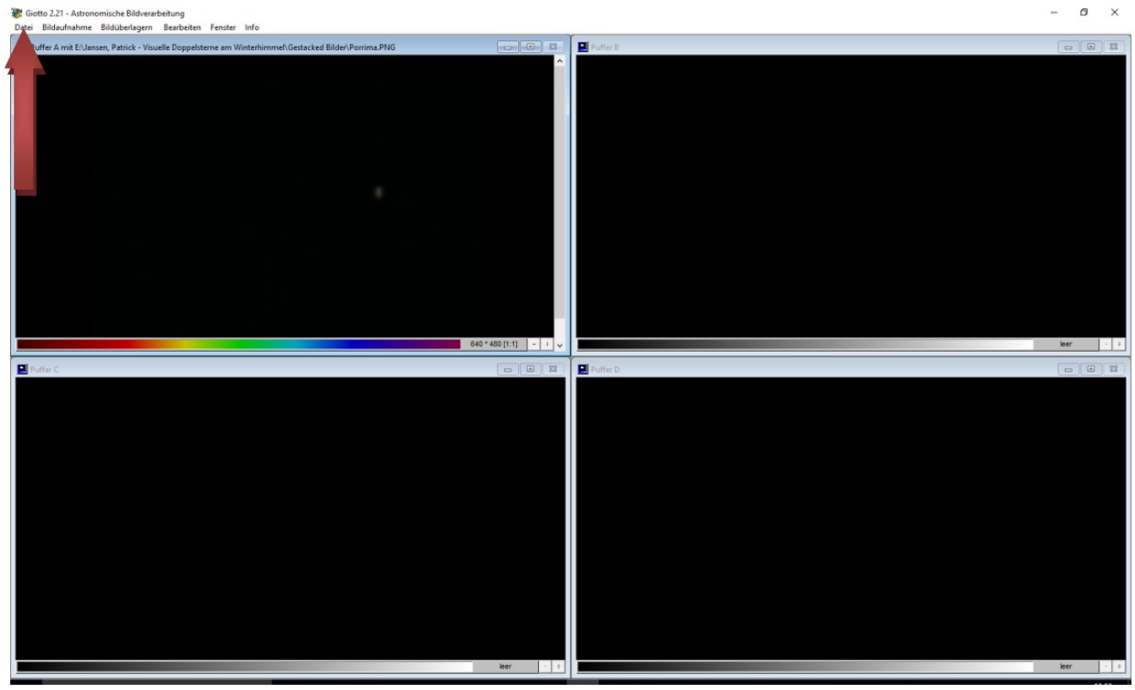

Abbildung 30: Speichern der gestackten Bilder

Um das Bild zu speichern wird der Button "Datei", oben links in der Ecke, betätigt und dann auf "Bild speichern..." geklickt.

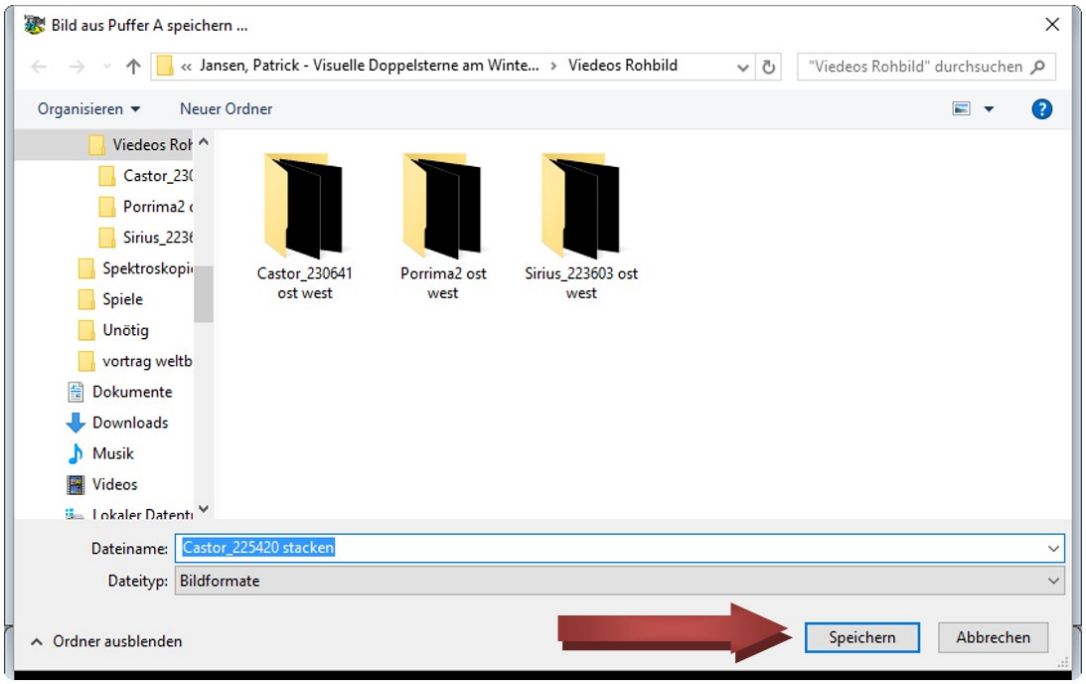

Abbildung 31: Ablegen der zu speichernden Datei auf dem Computer

Dann öffnet sich ein Fenster in dem ein entsprechender Ordner ausgesucht wird, in welchem das Bild gespeichert werden soll. Mit der Bestätigung des Buttons "Speichern" wird das Bild entsprechend auf dem Computer gesichert. Damit ist das erste Bild gestacked. Dieser Vorgang wird mit den übrigen Videos wiederholt.

6.4.2. Nord-Süd-Richtung im Bild/Video bestimmen

Nun werden die Bilder bearbeitet, bei denen der Stern von links nach rechts gewandert ist. Zuerst wird im Standartbildschirm von Giotto auf "Bildaufnahme" geklickt (Abbildung 32), welches direkt rechts neben dem Button "Datei", oben links, liegt. Desweiteren muss noch auf "AVI zerlegen..." gedrückt werden, um alle erstellten Bilder des Videos einzeln zu haben.

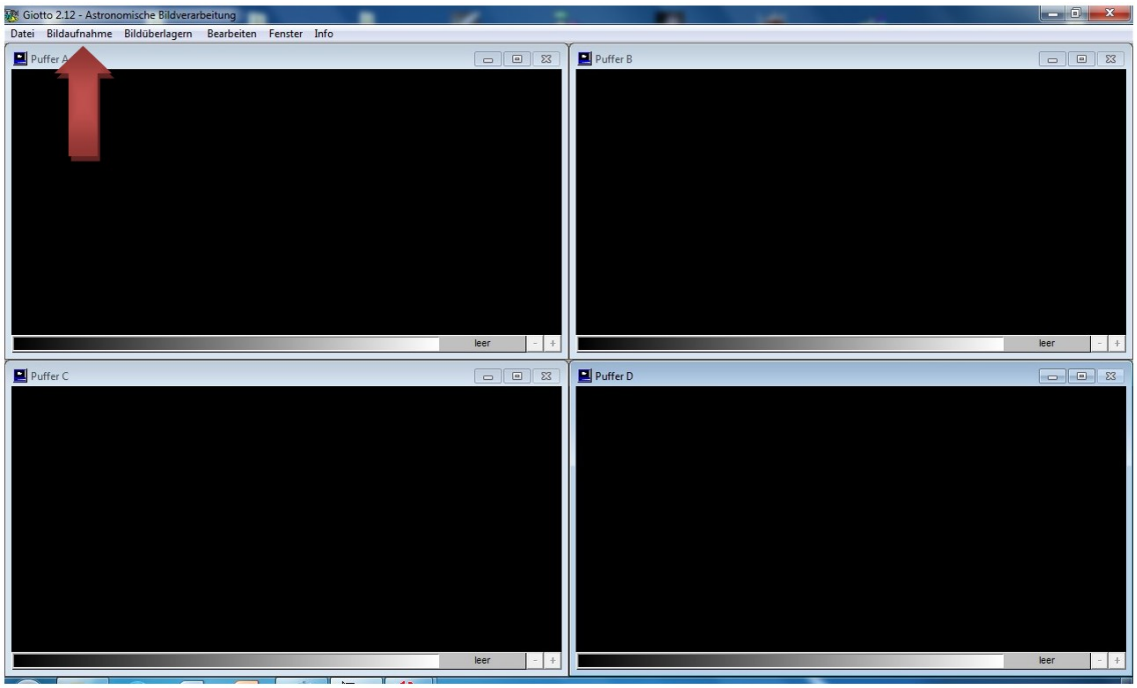

Abbildung 32: Zerlegung des Videos in einzelne Bilder

Daraufhin öffnet sich dieses Fenster:

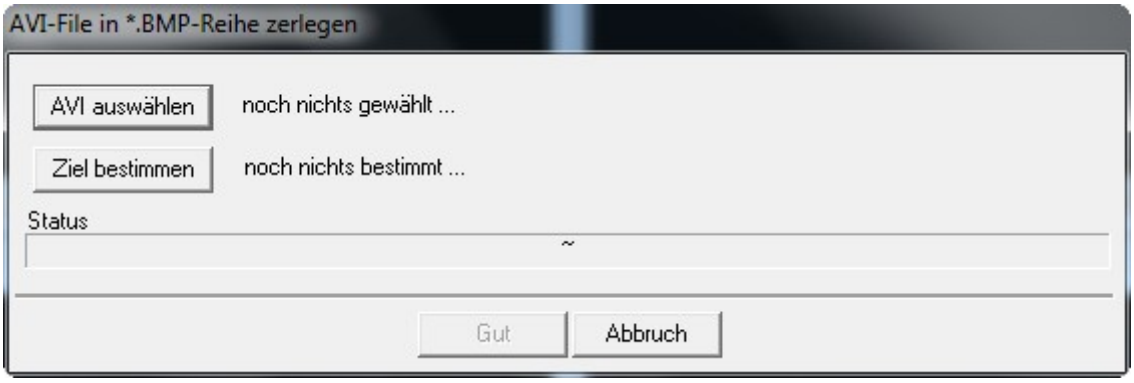

Abbildung 33: Auswahl des Videos und Bestimmung des späteren Speicherplatzes

Hier wird das Video, in welchem der Stern von links nach rechts gewandert ist, ausgewählt und auch direkt der Ordner angeben, in dem das Ergebnis später gespeichert werden soll.

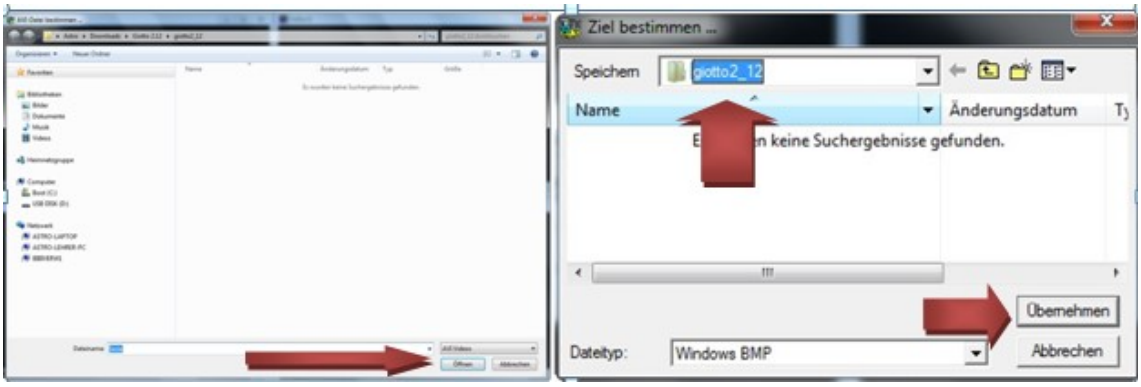

Abbildung 34: Auswahl des Speicherortes

Wenn beides bestätigt wurde erstellt Giotto jedes Bild des Videos einzeln und speichert diese in den angegebenen Ordner. Dieses dauert ein paar Minuten. Nachdem der Vorgang abgeschlossen ist sind ca. 500 bis 1000 Bilder, je nachdem wie lang das Video ist, entstanden. Aus diesen Bildern wird ein relativ scharfes Bild vom Anfang der Aufnahme und eins vom Ende der Aufnahme ausgewählt. Diese werden in einem separaten Ordner gespeichert bzw. gezogen, um sie dann von dort aus weiter zu bearbeiten. Daraufhin wird Photoshop geöffnet. Alternativ könnte auch mit Gimp oder anderen freien Programmen gearbeitet werden. Für diese Arbeit wurde das Programm Photoshop genutzt. Wenn dieses geöffnet ist sieht es in etwa so aus:

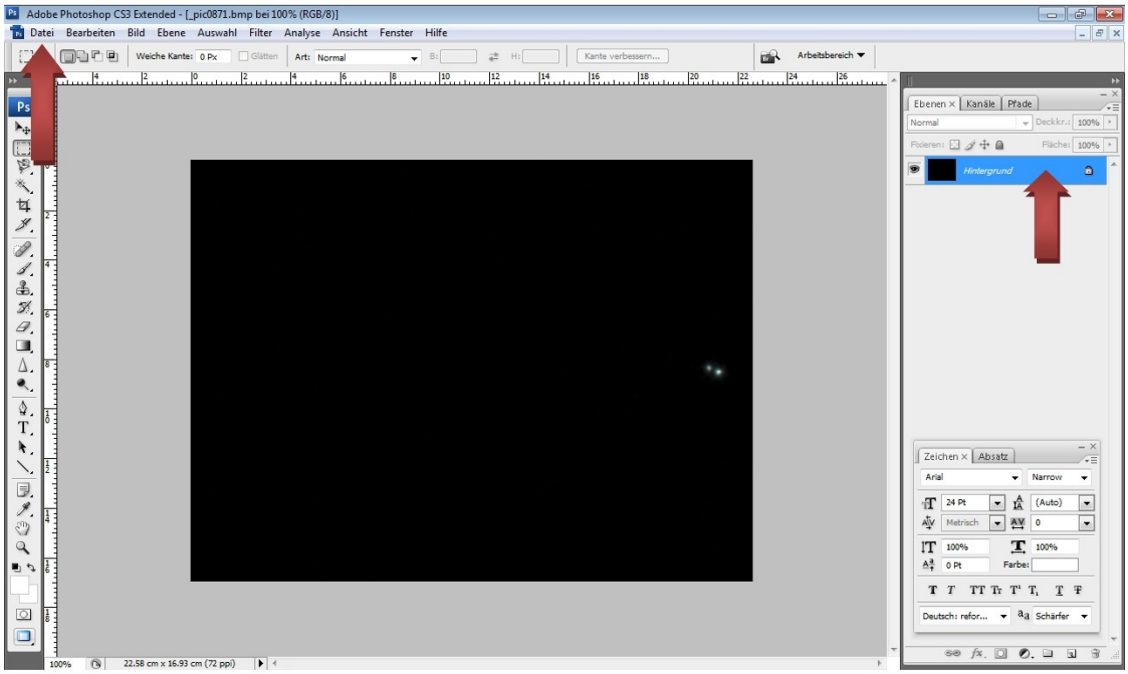

Abbildung 35: Bearbeitung der Bilder mittels Photoshop

Auf Abbildung 35 ist bereits das erste Bild, mit "Datei", "Öffnen" und dann über die Auswahl des Bildes, geöffnet worden. Diese Vorgehensweise wird mit dem zweiten Bild wiederholt. Daraufhin ist rechts im Bild die Bildebene zu sehen, welche durch das Auge davor gekennzeichnet ist. Auf dieses wird nun mit der rechten Maustaste geklickt und dann auf das erweiterte Menü "Bildebene duplizieren", um das Bild unter das andere zu legen. Denn momentan sind zwar beide Bilder offen aber in jeweils getrennten

Photoshop Dokumenten, so dass eine gleichzeitige Bearbeitung von beiden Bildern nicht möglich ist. Es sollte sich jetzt dieses Fenster Öffnen:

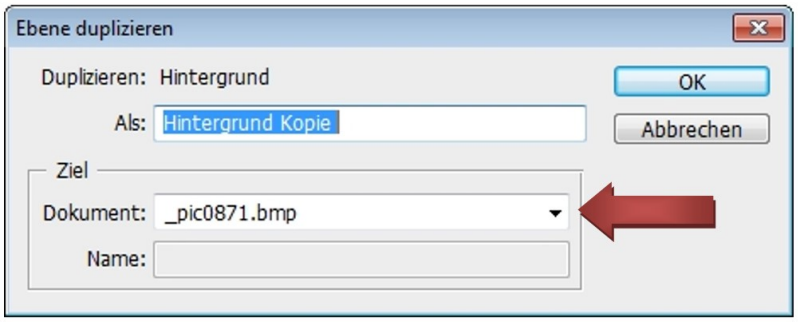

Abbildung 36: Duplizieren der Ebene

Dort kann eine Kopie des Bildes benannt und zu dem anderen Bild in das geöffnete zweite Dokument kopiert werden. Dazu wird unter dem Punkt Ziel das zweite Bild als "Dokument" ausgewählt. Eigentlich sollten nur die beiden Dokumente der geöffneten Bilder zur Auswahl stehen. Ist dieses erfolgt, wird in das andere Dokument gewechselt, um dort mit beiden Bildern zu arbeiten. Um dorthin zu gelangen kann auf "Fenster" in der oberen Leiste geklickt und dann das Dokument ganz unten auswählt werden, welches nicht das Häkchen hinter sich hat bzw. welches den Namen des anderen Bildes trägt.

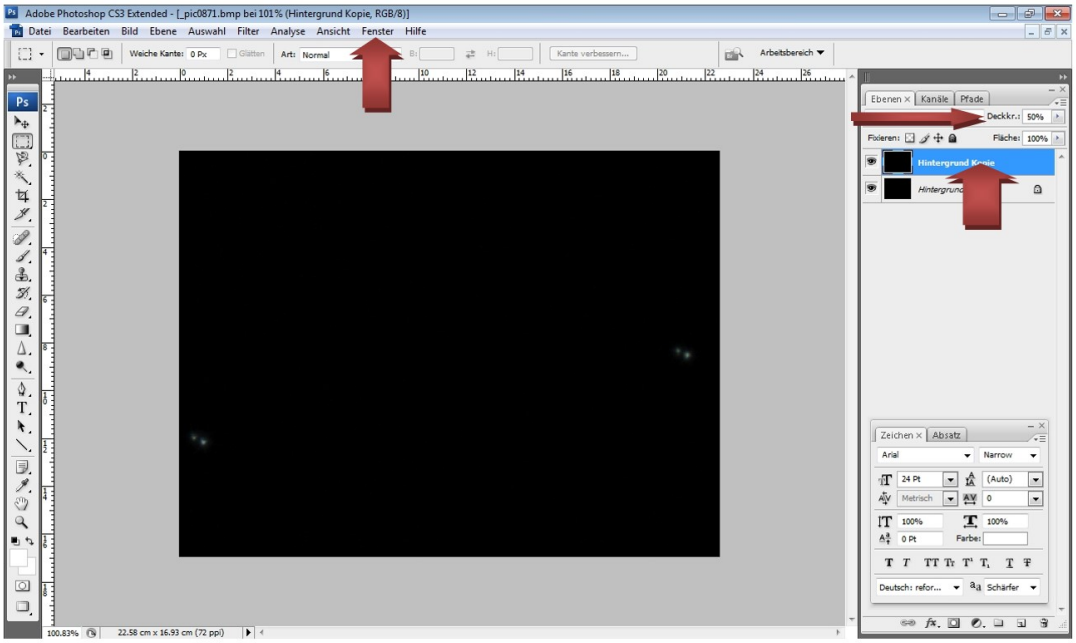

Abbildung 37: Wechsel in andere Datei

Rechts sind nun beide Bildebenen zu sehen und die Deckkraft des neu eingefügten Bildes muss auf ca. 50% verringert werden. Nur so können sich beide Bilder überlappen und gleichzeitig sichtbar sein. Daraufhin können die Bildebenen noch miteinander verschmolzen werden, indem die Bildebene mit der rechten Maustaste angeklickt wird und dieses Mal "Sichtbare auf eine Ebene reduzieren" ausgewählt wird.

So entsteht ein einzelnes Bild, mit dem weiter gearbeitet werden kann. Wenn dieses geschehen ist, sollen die Sterne miteinander verbunden werden, um herauszufinden welche Ost-West-Richtung sie haben. Dafür kann entweder links in der Schnellauswahl auf "Lineal Werkzeug" geklickt werden, oder falls dieses nicht möglich ist, in der oberen Leiste auf "Analyse" und dann auf "Lineal Werkzeug". Nun kann der rechte Stern markiert und dann das Lineal zum anderen Stern gezogen werden, so dass eine Gerade zwischen diesen entsteht. Unter der obigen Leiste stehen jetzt Buchstaben mit Zahlen dahinter. Diese beschreiben das Koordinatensystem (Abbildung 38). Für die weitere Bearbeitung wird jedoch nur "W" benötigt. "W" beschreibt den Winkel in dem sich die Gerade von der Y-Achse abhebt. Das heißt, das Bild muss um den angegeben Winkel gedreht werden, um die Ost-West-Richtung genau horizontal zu haben.

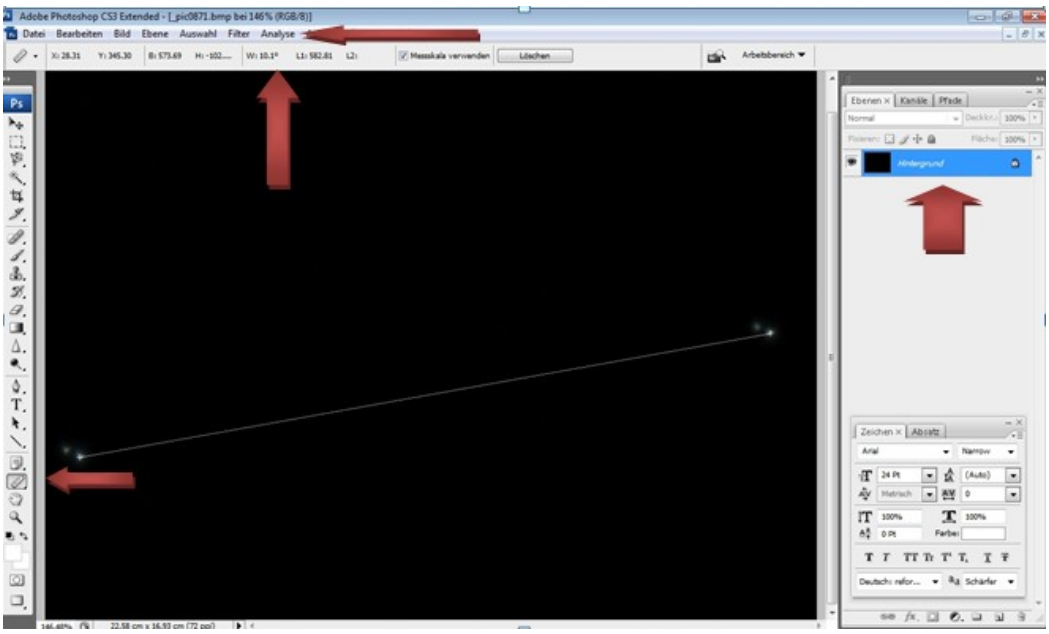

Abbildung 38: Verbindung der beiden Sterne und Winkelablesung

Deshalb wird nun die "festgestellte" Ebene (erkennbar am Schloss dahinter!) zunächst zu einer beweglichen Ebene deklariert. Dazu wird auf die Ebene rechts geklickt und dann die "Ebene aus Hintergrund..." ausgewählt. Darauf öffnet sich dieses Fenster:

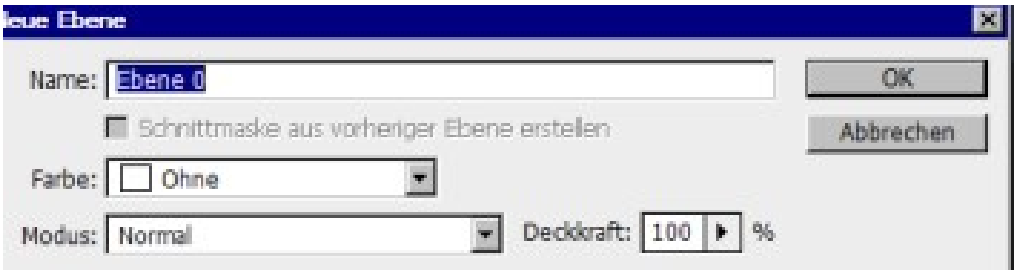

Abbildung 39: Bild als Ebene 0 deklarieren

In diesem Fenster muss nichts angepasst werden und es kann einfach auf "OK" geklickt werden. Nun ist die Ebene nicht mehr festgestellt.

Mit der Tastenkombination "Strg"+"T" wird der Mittelpunkt des Bildes angezeigt. Zunächst sollte über das Mausrad aus dem Bild heraus gezoomt werden. Die dadurch entstehende weiße Fläche außerhalb des Bildes wird genutzt, um durch ein Klick in diese Fläche, bei gedrückt gehaltener Maustaste die Maus nach unten zu bewegen und so das Bild zu drehen (grüner Pfeil in Abbildung 39). Alternativ kann der bestehende Winkel aber auch mit der benötigten Winkelangabe überschrieben werden und durch Bestätigung wird diese Anweisung durch das System eigenständig ausgeführt.

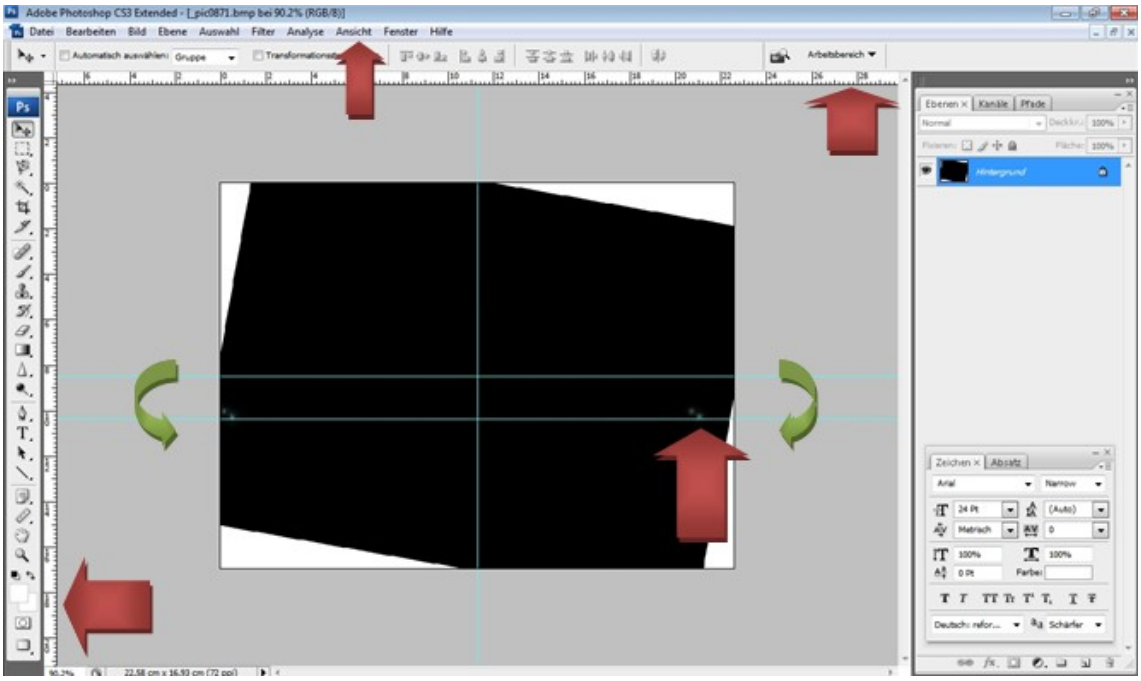

Abbildung 40: Drehen des Bildes

Nun kann noch eine Linie im rechten Winkel zur Ost-West-Richtung eingezogen werden, um die genaue Nord-Süd-Richtung zu haben. Dieses kann erstellt werden, indem das Lineal an der Seite einfügt wird, falls nicht schon vorhanden. Falls nicht, kann dazu auf "Ansicht" und dann "Lineale" gedrückt werden. Von diesen Linealen kann einfach eine senkrechte und horizontale Geraden in das Bild gezogen werden. Eine Senkrechte sollte genau durch die Mitte/Achse des Bildes (um welche das Bild gedreht wurde) verlaufen, welche den Rechtenwinkel zur Horizontalen markiert. Diese Horizontale sollte genau auf der Höhe der beiden Sterne sein, so dass sich ein Kreuz auf dem Bild ergibt.

6.4.3. Bogensekunden pro Pixel bestimmen

Um die Bogensekunden pro Pixel zu ermitteln wird ein Vergleichsstern benötigt, von dem die genauen Bogensekunden Abstand zu seinem Partner bekannt ist. Dieser bildet die Grundlage für die weiteren Ergebnisse. Durch die Bestimmung des Pixelabstandes und der Division der Angaben Bogensekunden und Pixel errechnet sich der Maßstab. Dieser Maßstab kann wiederrum auf alle anderen Bilder bezogen werden, weil sie mit dem gleichen Teleskop aufgenommen worden sind. Für diese Arbeit wurde der Doppelstern Castor als Grundlage gewählt, weil über ihn sehr viel bekannt ist. Für die weitere Bearbeitung wird ein selbsterstelltes Bild von Castor zunächst bei Photoshop eingespielt.

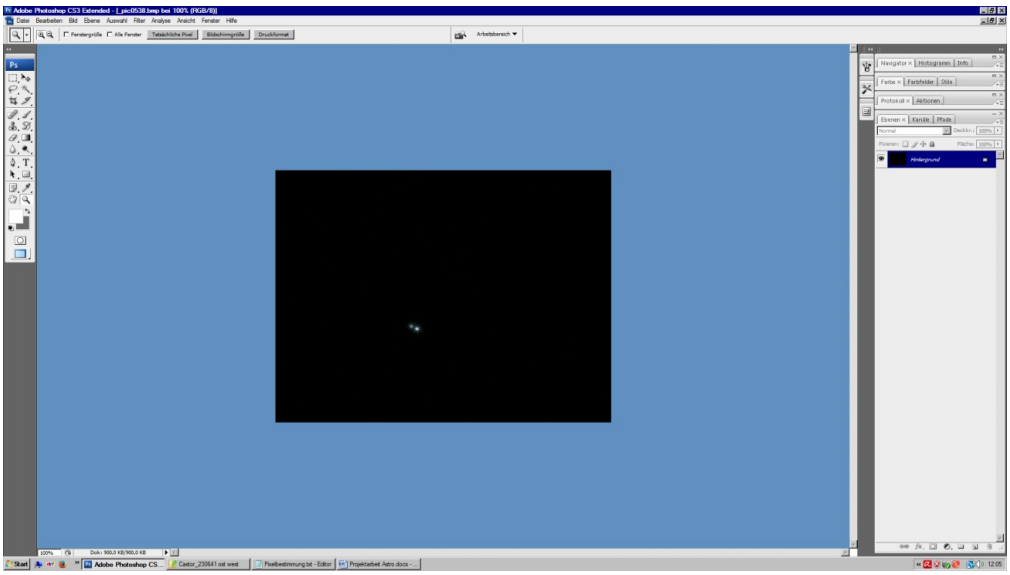

Abbildung 41: Bild von Castor im Programm Photoshop

Durch starkes herein Zoomen in das Bild sind die einzelnen Pixel gut zu erkennen. Dieses kann entweder durch scrollen am Mausrad oder durch das Schnellauswahlmenü links im Bild erfolgen.

Abbildung 42: Starkes herein Zoomen in das eingefügte Bild

Nun kann mit dem "Linealwerkzeug" der Abstand der Pixel zwischen den einzelnen Sternpartner bestimmt werden. Dazu wird vom Mittelpunkt des einen Sternes zum Mittelpunkt des anderen Sternes eine Linie gezogen, welche dann die Länge „L1“ anzeigt und wie viele Pixel darin enthalten sind. Bei dieser Berechnung hat sich einen Abstand von ca. 12 Pixeln ergeben (Abbildungen 41-43). Gemäß einer Internetrecherche liegt die Angabe von 5 Bogensekunden für das Doppelsternsystem Castor vor. Wenn nun diese 5 Bogensekunden durch die 12 Pixel geteilt werden, ergeben sich 0,417 Bogensekunden pro Pixel (kaufmännisch gerundet). Dieses ist der Maßstab der nun auf die anderen Bilder angewendet werden kann.

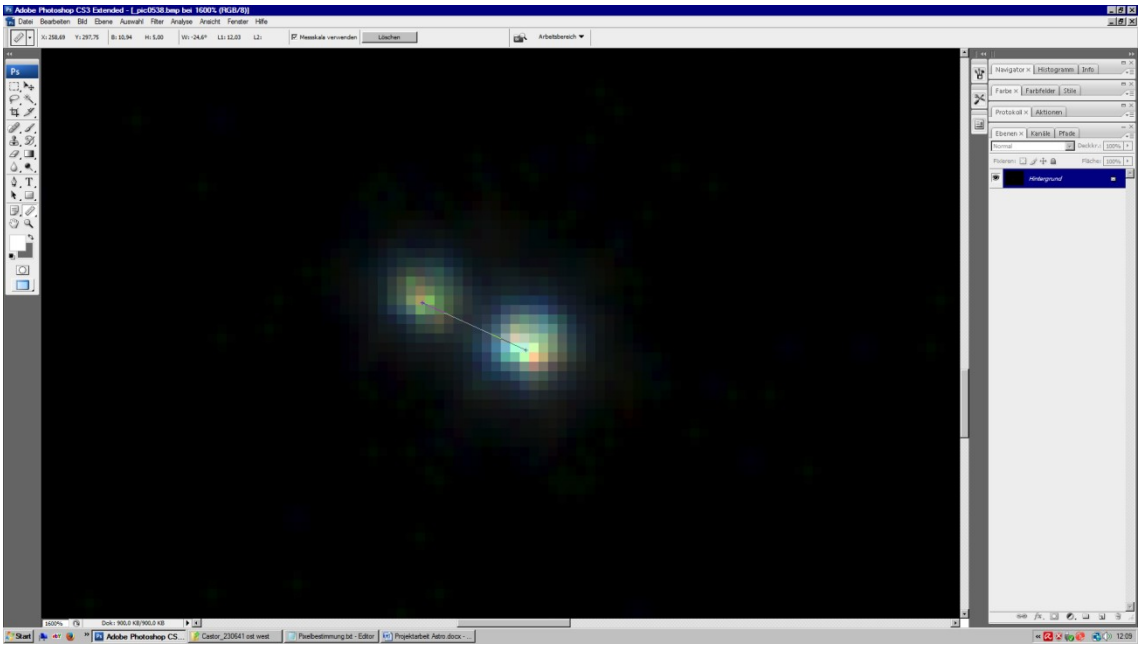

Abbildung 43: Pixelbestimmung mit Linealwerkzeug

7. Anwendung auf Sirius

Im Folgenden werden die Auswertungen der Nordrichtung und der Maßstabbeweis, so dass die genauen Bogensekunden Abstand bestimmt werden können und der genaue Positionswinkel, angewendet. Zunächst wird anhand des Literaturwertes des Positionswinkels von Castor festgestellt, ob der Partnerstern auf der richtigen Position steht. Wenn diese übereinstimmt, wird mit Hilfe des Doppelsternes Porrima und dessen Literaturwerte für die Bogensekunden Abstand nachgewiesen, dass der zuvor hergeleitete Maßstab zu trifft. Stimmt dieser ebenfalls überein, wird beides genutzt um es auf Sirius und seinen Begleiter anzuwenden und die genaue Position von Sirius B zu bestimmen.

7.1. Beweis der Nordrichtung anhand von Castor

Um zu beweisen, dass die Nordsüdrichtung stimmt muss der Positionswinkel stimmen, wenn er angewendet wird. Im ersten Schritt wird dafür ein eigens erstelltes Bild vom Doppelsternsystem Castor in Photoshop eingefügt und über die Tastenkombination „Strg“ + „T“ um die zuvor bestimmten 10,1 Grad gedreht.

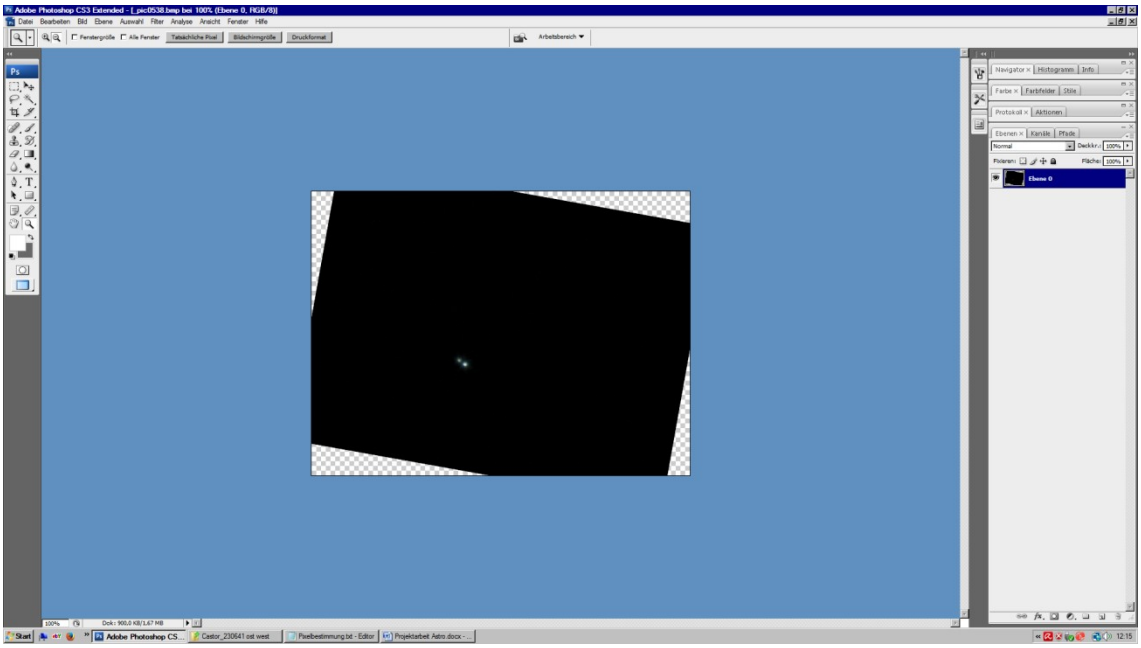

Abbildung 44: Ausrichtung der Nordrichtung und vorheriges deklarieren der Ebene

Dazu muss vorher die Ebene aus ihrem befestigten Zustand gelöst werden, indem die Ebene mit einem Rechtsklick angesteuert und als Ebene 0 deklariert wird. Jetzt kann das Bild gedreht werden. Als nächsten Schritt wird in das Bild hinein gezoomt und eine horizontale und eine senkrechte Gerade eingezogen, so dass sich ein Kreuz ergibt. Diese Linien sollten genau durch den Mittelpunkt des Hauptsternes verlaufen. Nun sollte die senkrechte Gerade genau die Nordrichtung anzeigen. Von dieser sollten es gemäß der Literaturangaben 52 Grad nach links, als Positionswinkel, zum Partnerstern sein. Deshalb wird im nächsten Schritt der Winkel von der Westrichtung zum Partnerstern ge-

messen. Dazu wird das „Linealwerkzeug“ im Schnellauswahlmenü oder unter „Analyse“ und dann "Linealwerkzeug“ genutzt. Nun wird eine Linie, ausgehend vom Mittelpunkt des Partnersternes, zum Mittelpunkt des Hauptsternes gezogen. Daraufhin wird in der oberen Leiste unter „W“ der Winkel, welcher im Bild grün markiert wurde, angezeigt (Abbildungen 45). Bei der Durchführung der Berechnung für diese Arbeit waren es genau 31,9 Grad. Gemäß Literatur müssten es 32 Grad sein, da von den 32 Grad noch 90 Grad abgezogen werden müssen ergibt sich der genaue Positionswinkel. Dabei ist es möglich das Ungenauigkeiten bis zu 4 Grad auftreten können, da nicht immer genau die Mitte des Sterns getroffen wird. Die Bearbeitung der Bilder für diese Arbeit ist dabei ziemlich genau getroffen, womit bewiesen ist, dass die Nordrichtung stimmt und der Positionswinkel angewendet werden kann.

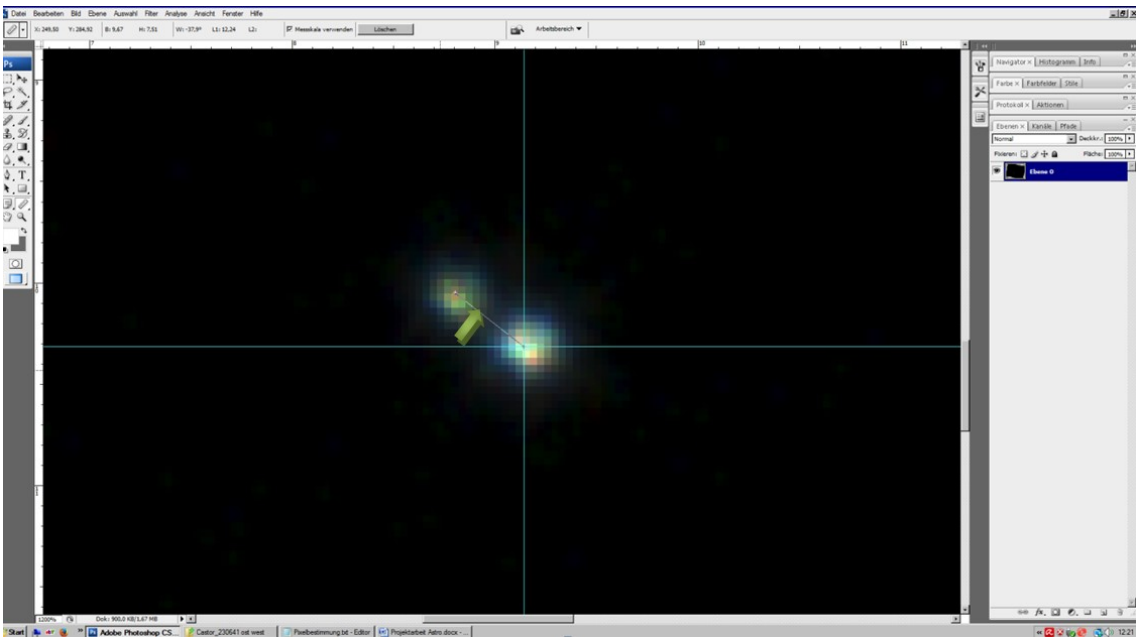

Abbildung 45: Einsatz des Linealwerkzeuges und Einfügen der senkrechten und horizontalen Geraden

7.2. Beweis des Maßstabs anhand Porrimas

In diesem Abschnitt wird bewiesen, dass der Maßstab richtig ermittelt wurde und auch auf andere Aufnahmen mit dem gleichen Teleskop und Kamera angewendet werden kann. Um dieses zu beweisen, wird zunächst ein anderer aufgenommener Doppelstern in Photoshop geöffnet. In diesem Fall ist es Porrima. Dazu wurde das eigens erstellte Bild von Porrima in Photoshop eingefügt und mit der Tastenkombination „Strg“ + “T“ gedreht.

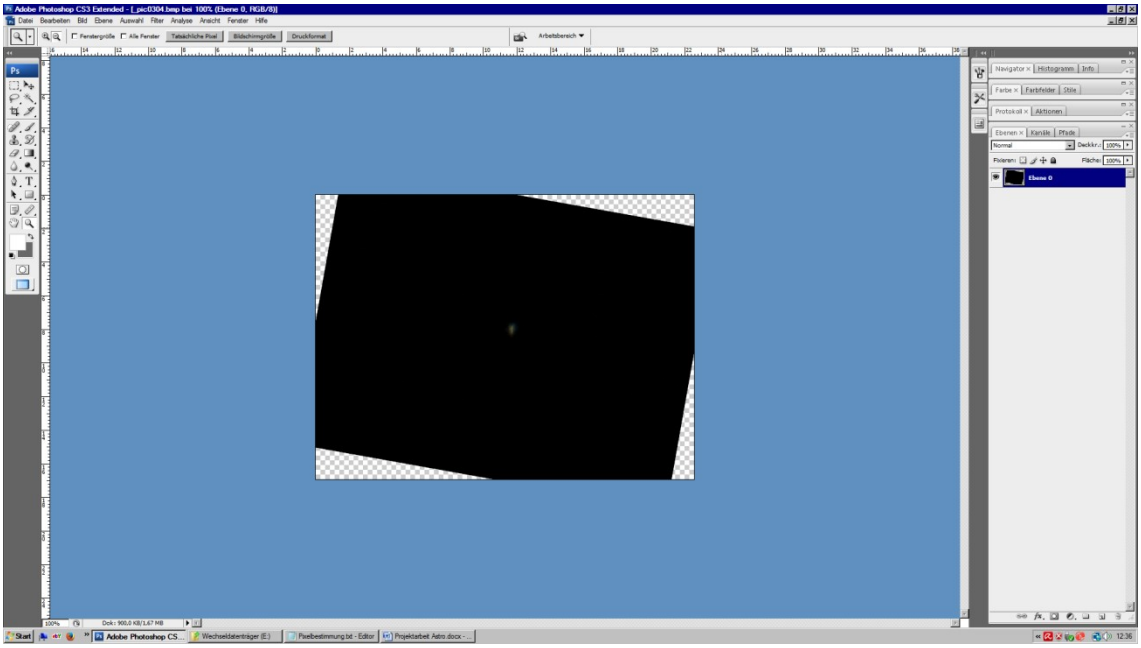

Abbildung 46: Drehung von Porrima nach Norden

Dieses dient, auch bei diesem Stern, einer Überprüfung des Positionswinkels. Es trifft auch hier relativ genau zu, wie am Diagramm (Abbildung 48) zu erkennen ist. Mit Hilfe des „Linealwerkzeuges“ wird eine Linie zwischen den beiden Sternpartnern eingezogen. Unter der Position „L1“ wird der Pixelabstand angegeben. Hier sind es ca. 6,5 Pixel. Diese Angabe multipliziert mit dem zuvor bestimmten Maßstab von 0,417 Bogensekunden pro Pixel ergibt einen Abstand von 2,71 Bogensekunden. Dieser Wert stimmt mit dem recherchierten Literaturwert überein. Damit ist bewiesen, dass der zuvor bestimmte Maßstab richtig ausgewertet wurde und weiter verwendet werden kann. Es ist aber zu berücksichtigen, dass es nicht das optimalste Jahr war um Porrima zu beobachten, weil die Sternpartner sich aufgrund ihrer starken Elipsenbahn sehr nahe kommen und schwierig aufzulösen sind. Dadurch können viele Ungenauigkeiten auftreten.

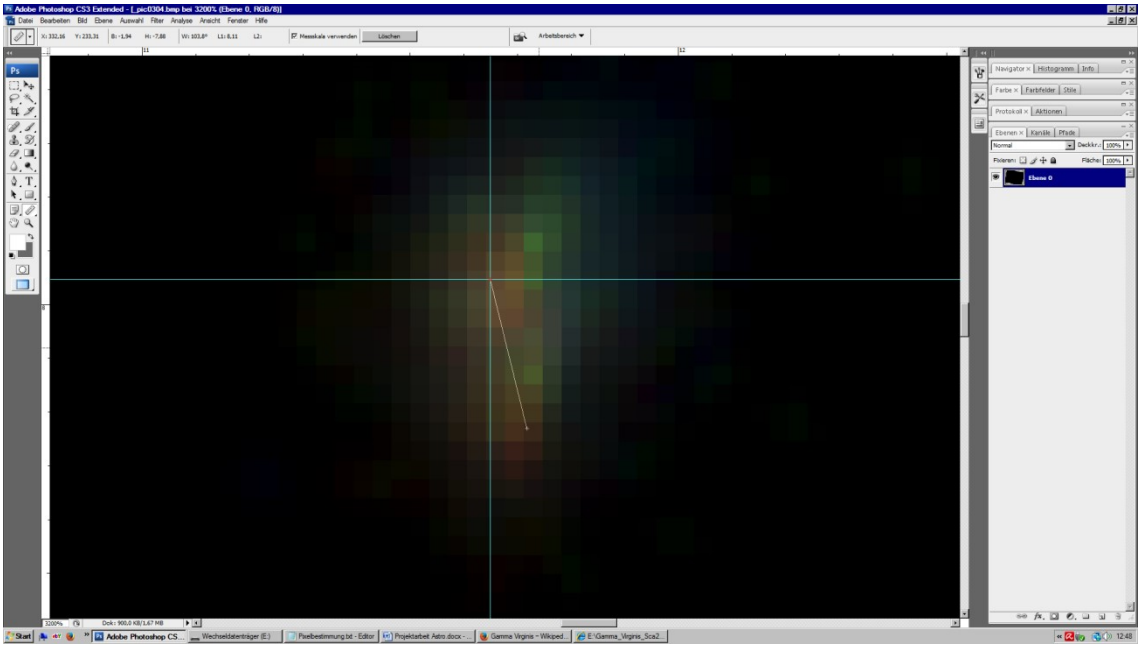

Abbildung 47: Heran Zoomen, Auswahl des "Linealwerkzeuges" und Geraden einzeichnen

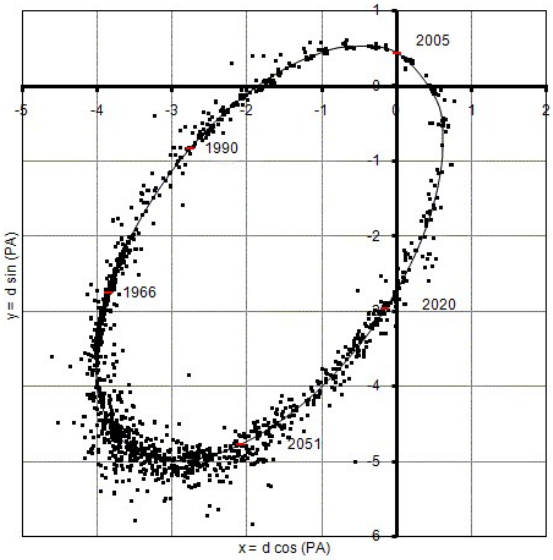

Abbildung 48: Umlaufbahn des Begleitsternes von Porrima

7.3. Bezug von Maßstab und Nordrichtung auf Sirius

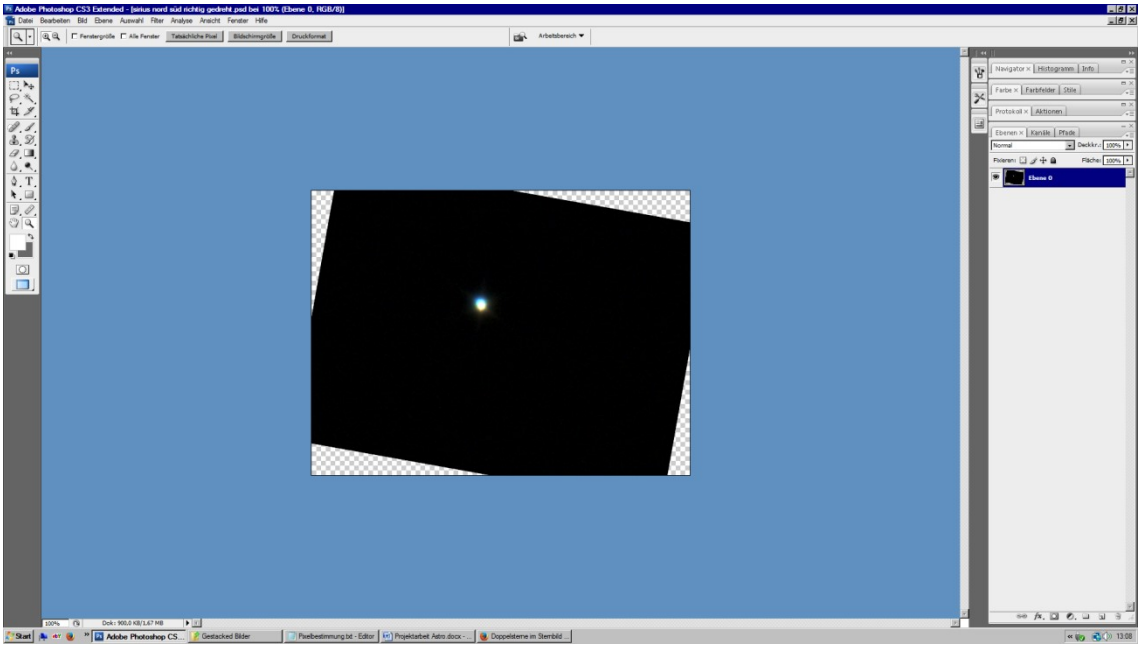

Abbildung 49: Sirius nach Norden ausgerichtet

Um ungefähr zu bestimmen wo sich Sirius B auf dem Bild befindet muss zuerst der Bogensekunden Abstand der Literatur entnommen werden. Dieser wird mit dem selbst entworfenen Maßstab auf ein Pixel gebracht, um so im Bild den genauen Abstand zu bestimmen. Der Literaturwert für das Jahr in dem die Aufnahmen erfolgt sind, ist ungefähr bei 10,5 Bogensekunden. Somit wird die Angabe von 10,5 Bogensekunden durch 0,417 dividiert, mit einem Ergebnis von ca. 25 Pixel. Nun wird der Positionswinkel benötigt, welcher ebenfalls aus der Literatur entnommen werden kann, und wird mit der bestimmten Nordrichtung addiert. In diesem Fall sind das 10,1 Grad + ca. 70 Grad, im Ergebnis 80,1 Grad. Um diesen Winkel muss nun das gesamte Bild gedreht werden, damit anschließend eine Senkrechte eingezogen werden kann, welche die Richtung anzeigt in der Sirius B zu finden ist. Dann werden die zuvor berechneten 25 Pixel mit dem "Linealwerkzeug" vom Mittelpunkt aus (Abbildung 50) hoch gezogen bis zum 25. Pixel.

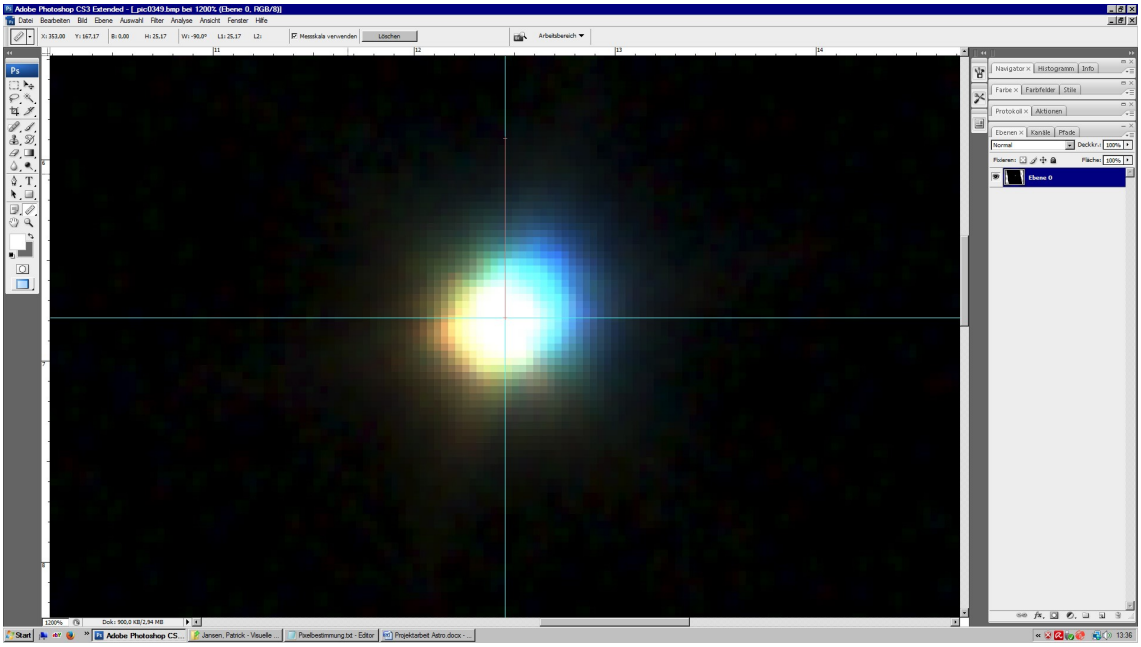

Abbildung 50: Heran Zoomen und mit "Linealwerkzeug" Pixel anhand des Maßstabes einzeichnen

Zur Vereinfachung wird als nächster Schritt ein Screenshot erstellt. Dieser wird wiederum in Photoshop eingefügt. Anschließens wird über die Schnellauswahl das "Rechteck-Werkzeug" ausgewählt und damit ein großzügiges Rechteck um den Mittelpunkt des 25. Pixels eingezeichnet (Abbildung 51).

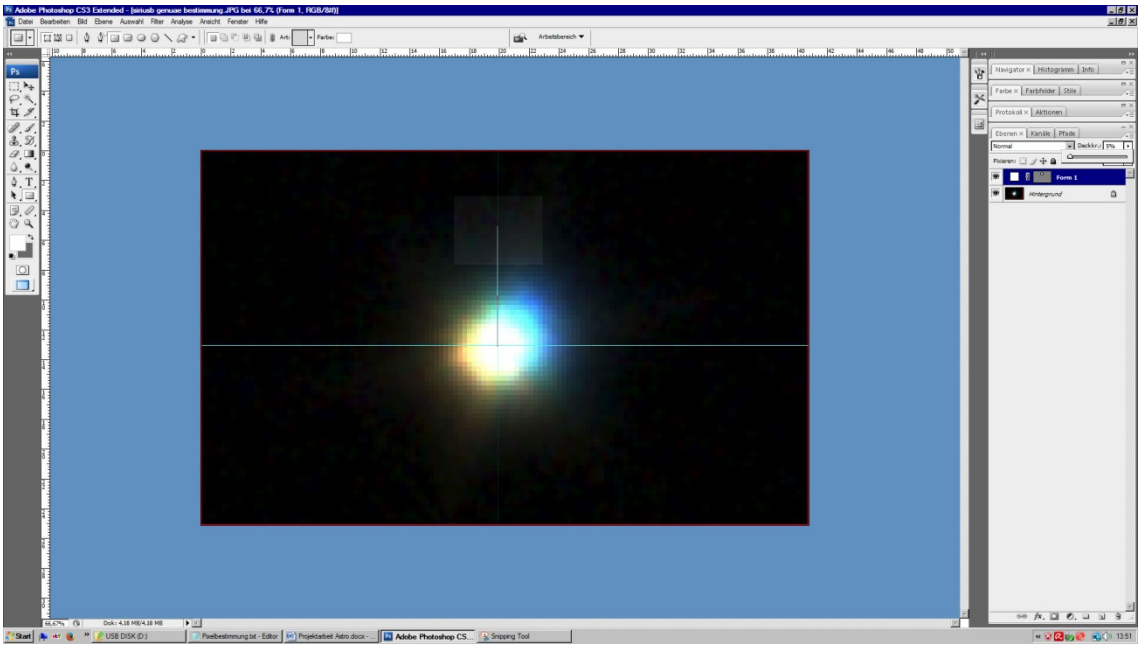

Abbildung 51: Einzeichnen der Position von Sirius B mit einem Rechteck

Von diesem Rechteck wird automatisch eine neue Ebene erstellt, welche auf eine 5%tige Deckkraft eingestellt wird. So ist trotzdem zu erkennen was sich dahinter befindet. Zudem kommen, durch den Weißanteil des Rechteckes, die Farben besser zur Geltung. Ungefähr in diesem Rechteck sollte sich Sirius B befinden. Um Messungsabweichungen zu neutralisieren wurde das Rechteck in dieser Größe gewählt (Abbildung 52).

Im Anschluss daran kann durch einen starken Zoomvorgang geschaut werden, ob Sirius B zu erkennen ist. Bei der Bearbeitung der Fotos für diese Arbeit war dieses nicht der Fall und wird anschließend in der Fehleranalyse genauer betrachtet.

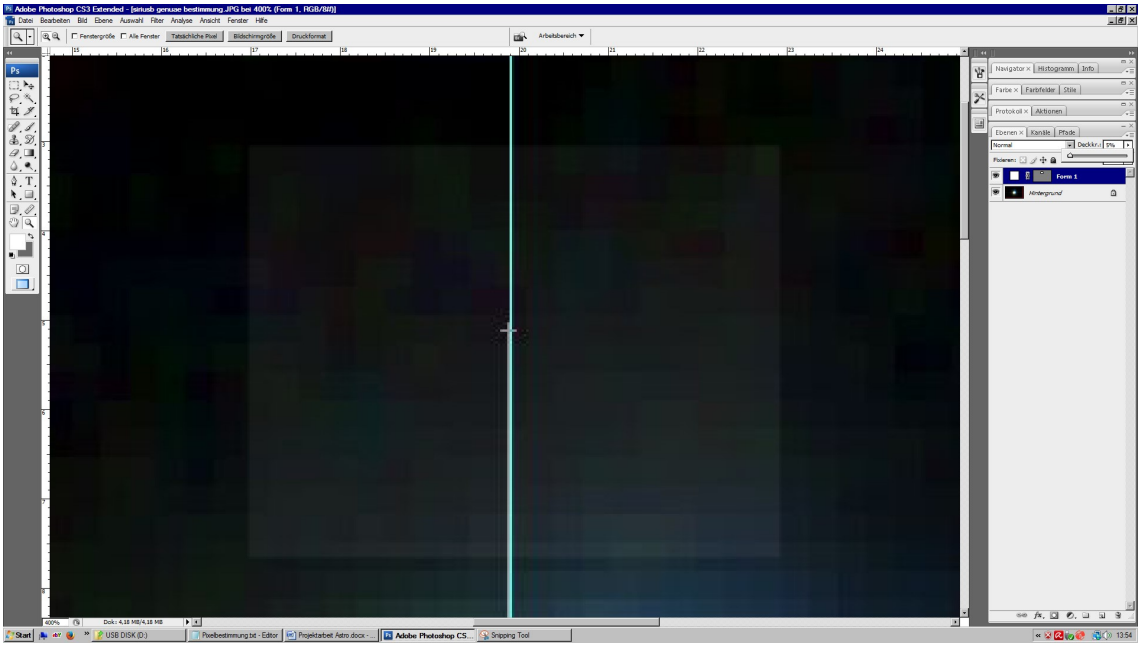

Abbildung 52: Heran Zoomen an das/den Rechteck/Bereich, in welchem sich Sirius B befindet

Für einen optischen Vergleich der eigens erstellten Bilder mit den Literaturangaben wird ein weiterer Screenshot erstellt und neu in Photoshop eingefügt. Dieser muss auf eine Ebene herausgezogen werden, damit diese gedreht werden kann. Dafür wird mit einem Rechtsklick auf die Ebene die Option "Ebene aus Hintergrund..." ausgewählt. Nun sollte das Bild mit "Strg" + "T" drehbar sein um das Bild um 70 Grad zurück zu drehen. So ist wieder die Ausgangsposition des Bildes hergestellt.

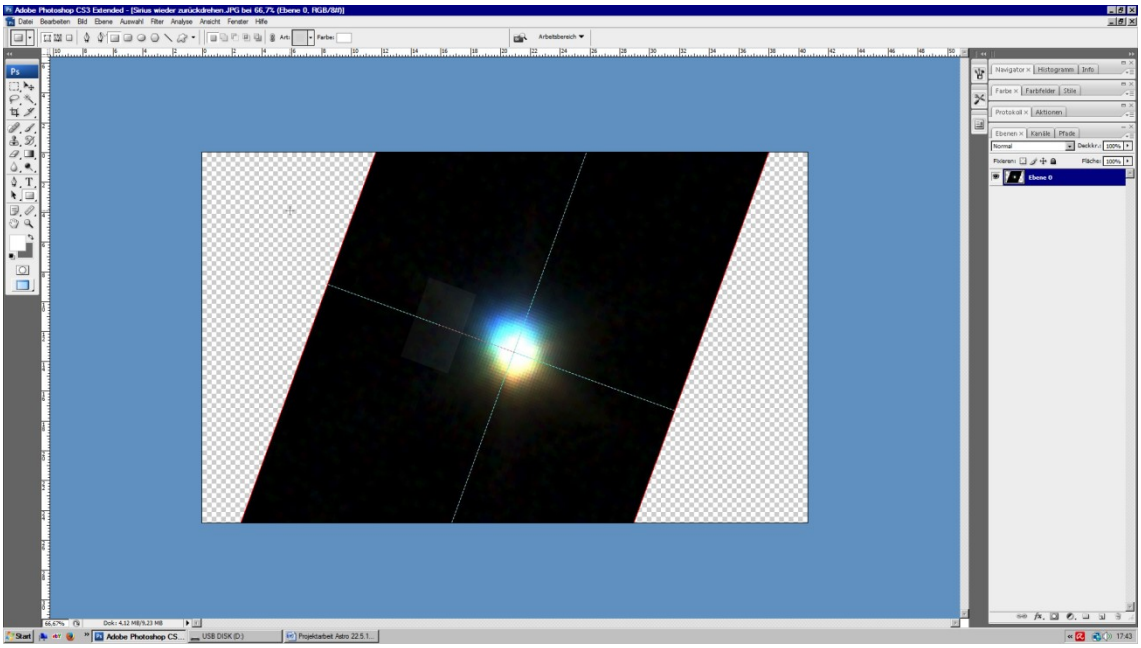

Abbildung 53: Zurückdrehen in die Ausgangsposition

Anstelle der oben im Bild eingestellten 70 Grad wird diese Angabe durch -70 Grad ersetzt und das Bild sollte sich automatisch zurückdrehen. Bei diesem Vorgang bleibt die voreingestellte Nordrichtung von 10,1 Grad bestehen. Nun wird das Bild zuletzt nochmal vergrößert und es wird eine neue Senkrechte, sowie eine Horizontale eingezogen, so dass wieder die Himmelsrichtungen zu erkennen sind (Abbildung 54). Dieses wird nun mit einer Abbildung der richtigen Umlaufbahn von Sirius B verglichen und schlussfolgert, dass Sirius B richtig bestimmt wurde (Abbildung 55).

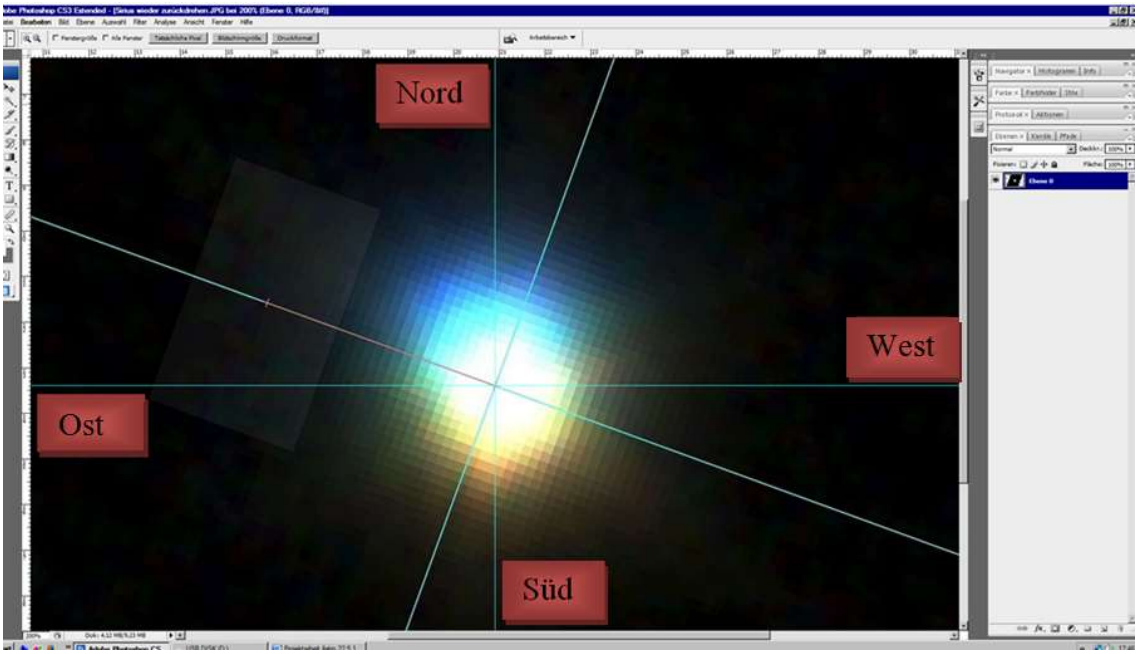

Abbildung 54: Eintragung der Himmelsrichtungen

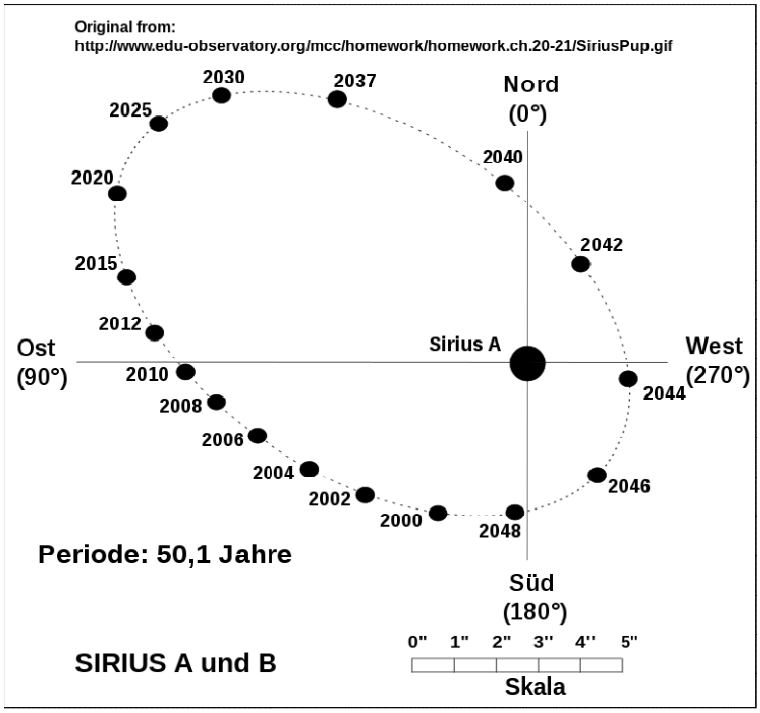

Abbildung 55: Umlaufbahn von Sirius B

8. Ergebnisse

Im Endergebnis kann Sirius B trotz erfolgreicher Zwischenergebnisse nicht auf den erstellten Bildern erkannt werden. Die Bilder, welche die Grundlage für die weitere Bearbeitung bilden, konnten bei einem verhältnismäßig gutem Seeing aufgenommen werden. Die Bearbeitung dieser Bilder erfolgte mit Hilfe von computergestützten Programmen. Die gestackten Videos ergeben deutlich klarere Bilder als die ursprünglichen Aufnahmen. Durch diese Qualitätsverbesserung war es möglich klarere Aufnahmen der Doppelsternsysteme zu erhalten. Für die weiteren Bearbeitungsschritte wurden die aufgenommenen Videos in einzelne Bilder zerlegt und ausgewählte Bilder weiter bearbeitet. Anhand derer wurde die Nord-Süd-Richtung für Castor bestimmt, auf Porrima übertragen und im letzten Schritt auf Sirius angewendet. Die Korrektheit der erarbeiteten Ergebnisse wurde durch die vorhandenen Literaturwerte bestätigt. Eine ähnliche Vorgehensweise wurde bei der Bestimmung der Bogensekunden pro Pixel angewendet. Im Doppelsternsystem Castor wurden die Bogensekunden aus der Literatur angewendet um die Pixel zu bestimmen. Für das Doppelsternsystem Porrima wurden die Angaben durch die erstellten Bilder eigens errechnet. Diese stimmen, bis auf geringe Rundungsdifferenzen mit den Literaturwerten überein. Der vorher selber definierte Maßstab konnte so bewiesen und die Angaben auf das Doppelsternsystem Sirius übertragen werden. Da der Partnerstern von Sirius auf den erstellten Bildern nicht zu erkennen ist, wurde hier die Angabe der Bogensekunden aus der Literatur entnommen und mit dem zuvor bewiesenen Maßstab verwendet. Durch die Bestimmung des Maßstabes, Bogensekunden pro Pixel konnte so ein entsprechender Rückschluss auf den Abstand in Pixeln zwischen dem Hauptstern Sirius A und seinem Begleiter Sirius B erfolgen. Die so erstellten Annahmen zur Position von Sirius B konnten wiederrum anhand entsprechender Literaturquellen nachgewiesen werden (Abbildung 55). So war es möglich eine Annahme über die Position von Sirius B darzustellen auch ohne das er auf den Bildern direkt erkennbar war.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der gestackten Videos und die gedrehten Zwischenergebnisse der bearbeiteten Bilder.

Abbildung 56: Castor (gestacked)

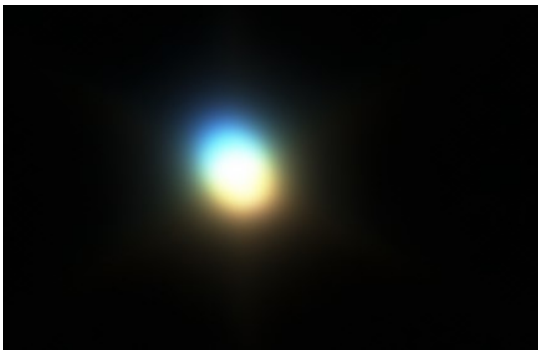

Abbildung 57: Sirius (gestacked)

Abbildung 58: Porrima (gestacked)

Abbildung 59: Castor (nach Norden ausgerichtet)

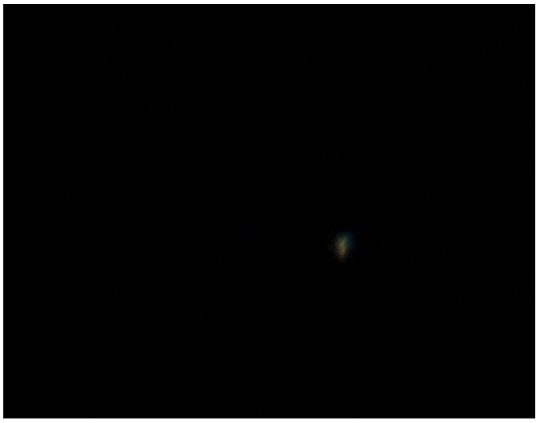

Abbildung 60: Porrima (nach Norden ausgerichtet)

Abbildung 61: Sirius (nach Norden ausgerichtet)

9. Fehlerbetrachtung

Die Aufgabe bestand darin, die Position im selbsterstellten Foto von Sirius B, mithilfe der zuvor bearbeiteten Mittel, zu bestimmen. Dieses hat nur näherungsweise funktioniert. Im ersten Schritt wurde versucht, mit Hilfe einer selbstgebauten Blende, Sirus B direkt zu fotografieren. Die Blende wurde in Hexaeder-Form gebaut, um so das Licht des Hauptsternes in die sechs Ecken abzuleiten. Diese Ecken sollten das eingefangene Licht von Sirius in sechs Spitzen umlenken, so dass der Hauptstern für den Beobachter nicht mehr so hell erscheint, und durch eine optische Verzerrung sich das Licht auf die Spitzen und den Mittelpunkt des Sternes verteilt. So entstehen zwischen den Spitzen dunklere Räume, in denen nicht so viel Licht ist und so möglicherweise Sirius B als schwach leuchtender Stern nicht mehr überstrahlt wird und somit für den Beobachter sichtbar wird. Trotz langem Drehen der Blende und somit der Verschiebung der Spitzen, hat dieses nicht funktioniert. Ursache dafür kann sein, dass die Ecken der Blende nicht spitz genug ausgesägt wurden und sie so ein bisschen zu abgerundet waren. Außerdem ist durch das schlechte Seeing der Stern auf dem Bild breiter als normal und damit unscharf geworden. Ebenso hat die Windstärke am Tag der Aufnahmen die Qualität der Bilder beeinflusst. So ist auf den Bildern nur ein großer Lichtball zu erkennen, der alles überstrahlt. Daraufhin wurde versucht, mit Hilfe der anderen Doppelsterne, die Position von Sirius B in einem eigens erstellten Bild von Sirius zu bestimmen. Dieses Vorgehen hat jedoch nicht den gewünschten Erfolg gebracht, da Sirius B trotz genauer Bestimmung nicht auszumachen war. Mit Hilfe der genauen Position aus der Literatur konnte dennoch bewiesen werden, dass Sirius B näherungsweise an der dafür vorhergesehenen Stelle zu finden sein müsste. Die genaue Messung dieser Arbeit würde die Position von Sirius B ca. im Mittelpunkt des Rechtecks angeben, aufgrund von Messungsungenauigkeiten kann es hierbei zu Abweichungen kommen. Auch bei starkem Vergrößern und genauem Absuchen konnte der Partnerstern nicht gefunden werden. Es sind zwar immer wieder unreine Pixel zu sehen, d.h. stark andersfarbige Pixel als die, die direkt um den eigentlichen Pixel herum sind, aber es sind über die vorhandenen Bilder keine genauen Rückschlüsse auf seine definitive Position zu ziehen. Aber durch den Beweis der genauen Position mittels Literaturwerte/Diagramm in Bogensekunden und Positionswinkel ist sicher, dass Sirius B im angegebenen Rechteck zu finden sein muss.

Anhang

Anhang 1: Ausblick

Zukünftig möchte ich das Doppelsternsystem Sirius weiter erforschen. Durch eine Spektroskopie des Doppelsternsystems werde ich versuchen Sirius B noch anders nachzuweisen. Außerdem ist eine weitere Verfeinerung sowie ein Umbau der Blende möglich. Darüber hinaus möchte ich mich näher mit der Geschichte und zurückliegenden Forschungsergebnissen von Sirius beschäftigen. In diesem Zusammenhang sollen Vermutungen aufgestellt und erforscht werden. Diese Leistung soll im Sinne der zusätzliche Lernleistung im Fach Astronomie und des damit verbundenen Mintzertifikates gewertet werden.

Anhang 2: Danksagung

Ich danke besonders dem Unternehmen OSIMCO Systems GmbH, die mich beim Bau meiner Blende unterstützt haben indem ich unter Anleitung meines Vaters die Fräsmaschinen benutzen durfte und sie mir außerdem einen Speziallack zur Beschichtung meiner Blende zur Verfügung gestellt haben. Außerdem danke ich meinem Physik Leistungskurs Lehrer Herrn Winkhaus und meinen Projektleiter Herrn Koch für die Bereitstellung der Sternwarte, der theoretischen Materialien zu diesem Thema sowie ihrer zur Verfügung gestellten Zeit und Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit.

Anhang 3: Abschlusserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit vollständig alleine erarbeitet und nur die im Literaturverzeichnis angegebene Literatur verwendet habe. Die Arbeit darf anderen als Vorlage dienen. Desweiteren bin ich damit einverstanden, dass die von mir verfasste Facharbeit der schulinternen Öffentlichkeit in der Bibliothek der Schule zugänglich gemacht wird.

Patrick Jansen _____

Wuppertal, den 01.06.2016

Literaturverzeichnis

Baader Planetarium (2010): Anleitung EdgeHD-Serie, Mammendorf 2010

Guthoff, T., Müller, J.M. (2013): Spektroskopische und fotografische Untersuchung der Plejaden (M45), Wuppertal 2013

Koch, B. (2012): Stars am Nachthimmel, Stuttgart 2012

Thoss, V. (2014): Bestimmung der Bahnparameter spektroskopischer Doppelsterne, Neufahrn 2014

Unterrichtsmaterial des Physik Leistungskurses

Astronomiezeitschrift Skyteleskop

Internetquellen

http://www.avgoe.de/astro/Teil04/Masse.html, Stand: 29.05.2016

https://de.wikipedia.org/wiki/Baryzentrum, Stand: 31.05.2016

https://de.wikipedia.org/wiki/Castor_(Stern), Stand: 22.05.2016

https://de.wikipedia.org/wiki/Deep_Sky, Stand: 31.05.2016

https://de.wikipedia.org/wiki/Dichte, Stand: 30.05.2016

https://de.wikipedia.org/wiki/Doppelstern, Stand: 29.05.2016

https://de.wikipedia.org/wiki/Gamma_Virginis, Stand: 22.05.2016

https://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtkraft, Stand: 29.05.2016

https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Doppel-_und_Mehrfachsterne, Stand 30.05.2016

https://de.wikipedia.org/wiki/Magnetische_Feldst%C3%A4rke, Stand: 30.05.2016

https://de.wikipedia.org/wiki/Masse_(Physik), Stand: 29.05.2016

https://de.wikipedia.org/wiki/Newtonsches_Gravitationsgesetz, Stand: 26.05.2016

https://de.wikipedia.org/wiki/Radius, Stand: 30.05.2016

https://de.wikipedia.org/wiki/Schwerefeld, Stand: 30.05.2016

https://de.wikipedia.org/wiki/Sirius#Sirius_A_und_B_als_Doppelsternsystem, Stand: 01.05.2016

https://de.wikipedia.org/wiki/Temperatur, Stand: 30.05.2016

https://de.wikipedia.org/wiki/Winkelgeschwindigkeit, Stand: 30.05.2016

http://home.arcor.de/hpj/Weltall/Doppelsterne.html, Stand: 10.05.2016

http://www.edu-observatory.org/mcc/homework/homework.ch.20-21/SiriusPup.gif, Stand: 01.05.2016

http://www.epsilon-lyrae.de/Doppelsterne/GammaVirginis/GammaVirginis_Interferometrie.html, Stand: 29.05.2016

http://www.epsilon-lyrae.de/Doppelsterne/Massenberechnung/Massenberechnung.html, Stand: 22.04.2016

http://www.sterngucker.de/artikel/sternsysteme/doppelsterne-im-sternbild-jungfrau-gamma-theta-und-psi-virginis/, Stand: 27.05.2016

http://www.theimagingsource.de/produkte/industrie-kameras/usb-2.0-monochrom/dmk41au02/, Stand: 29.05.2016

http://www.theimagingsource.de/produkte/industrie-kameras/usb-2.0-farbe/dfk21au04/, Stand: 29.05.2016

Softwareliste

Giotto 2.12

FastStone Capture

Adobe Photoshop CS3

Snipping Tool