Carl-Fuhlrott-Gymnasium Jahrgangstufe 12

Wuppertal Schuljahr 2012/2013

Facharbeit im Leistungskurs Physik

Thema: Spektroskopische Untersuchung und Modell des Be-Sterns γ Cassiopeiae

Verfasser: Lukas Alexander Kauzmann und Leon Winnie Teichmann

Kursleiter: Michael Winkhaus

Betreuer: Bernd Koch

Inhalt

1. Vorwort 3
1.1 Möglichkeiten an der Sternwarte 4
1.2 Auswahl des Themas 7
1.3 Wahl des Schwerpunktes 7
2. Aufbau des Teleskops an der Sternwarte 8
3. Allgemeine Informationen Gamma Cassiopeiae 13
4. Spektroskopie 15
4. 1 Spektralklasse B 16
4.2 Be Sterne 17
4.3 Bedeutung der Spektroskopie 17
4.3 Spektroskopie mit einem Prisma 19
4.4 Spektroskopie mit einem Gitter (Doppel- bzw. Mehrfachspalt) 20
4.5 Spektren 22
4.6 Der Dopplereffekt 24
5. Das Sternbild Kassiopeia 26
5.1 Benennungen des Sternbilds (Geschichte) 27
5.2 Abgrenzung des Sternenbilds der Kassiopeia 27
6. Aufnahmetechnik 29
6.1 Celestron 11 EdgeHD 30
6.2 DADOS Spektrograph 32
6.3 Canon EOS 450D 33
6.3.1 Modifizierung der Canon EOS 450 D 33
6.3.2 Die Aufnahmesoftware EOS Ultility 34
6.4 Teleskopmontierung AP 900 36
7. Auswertung der bisherigen Ergebnisse: Spektrum 38
7.1 Stacken der Spektren 39
7.2 Wellenlängenkalibration der Spektren 41
7.3 Normierung der Spektren 42
7.4 Messung der Äquivalentbreite 43
7.5 Ergebnis und Vergleich mit Referenzmaterial 44
8. Modell von Gamma Cassiopeiae 45
8.1 Materialien für das Modell 46
8.2 Planung des Modells 48
8.3 Bau des Modells 48
8.4 Vorteile des Modells 55
9. Danksagung 56

1. Vorwort

Wir haben uns dazu entschlossen, ein Thema aus dem Bereich der Physik zu wählen und über dieses eine Facharbeit zu schreiben.

Nun ist die Frage, wie kamen wir dazu?

Der Grund für unser Interesse an der Physik speziell an der Astronomie liegt in unserer Vergangenheit. Am gleichen Tag stand für uns fest, dass wir einmal etwas über die Sterne herausfinden wollten. Die Sonne war unser Grund. Am Tag der Sonnenfinsternis, dem 11.08.1999 waren wir zur gleichen Zeit, an verschiedenen Orten dabei, uns die Sonnenfinsternis anzusehen. Sie war ein spektakuläres Schauspiel der Natur. Nachdem die Sonnenfinsternis vorbei war, blieb eine Erkenntnis, die wir beide teilten. Wir wollten verstehen, warum und wie ein so außergewöhnliches Naturereignis passieren konnte.

Einige Jahre später hatten wir Physikunterricht und lernten mehr über den Kosmos. Zum Beispiel, dass Sterne Sonnen aus anderen Sonnensystemen sind. Wir konnten nun eine Verknüpfung zwischen der Sonnenfinsternis und den Sternen herstellen. Das Interesse für die Astronomie, einem überaus interessanten Gebiet der Physik, fing an in uns zu wachsen.

Später wählten wir beide den Physik-Leistungskurs. Unser Kursleiter ist ein Physiker, der sich auf dem Gebiet der Astronomie spezialisiert hat.

Unser Thema ist die spektroskopische Untersuchung, sowie ein Modell von Gamma Cassiopeiae. Die Spektroskopie ist ein relativ „junges“ Thema der Astronomie. Frühere astronomische Arbeiten befassten sich größtenteils mit der Bewegung der Planeten und der Planetensysteme. Die Spektroskopie ermöglichte mit Hilfe eines Prismas, das Licht eines Sterns aufzufangen. Diese Technik diente nicht nur dazu die Elemente der Sterne zu bestimmen sondern auch deren Rotationsgeschwindigkeit. Die dazu genutzte Technik nennt man den Dopplereffekt. Trotz dieser Möglichkeiten wollten wir mit unserer Facharbeit eine Arbeit über die Analyse eines Spektrums schreiben, ohne dabei die Rotationsgeschwindigkeit zu bestimmen. Der Grund dafür war, dass unser Objekt, der Stern Gamma Cassiopeiae eine

Wasserstoffhülle besitzt und damit ein besonders interessantes Objekt in der Spektroskopie darstellt.

Zudem hatten wir uns vorgenommen ein Modell von unserem Stern anzufertigen, um die Lichtverschiebung, sowie die Wellenlängenverteilungen am Stern deutlich machen zu können.

1.1 Möglichkeiten an der Sternwarte

Die Sternwarte bietet mehrere Möglichkeiten astronomische Arbeiten verschiedenster Art anzufertigen. Die Basis liefern sechs Stationen mit Halterungen für Teleskope. Diese sind frei beweglich und können mit Teleskopen bestückt werden (Abb. 1).

Abbildung 1: Zwei aufgebaute Stationen

Die Teleskope werden im Aufenthaltsraum von Station 7 neben den Arbeitsstationen aufbewahrt. Außerdem lagern dort sechs identisch ausgestatte Materialwagen, welche mit Zubehör bestückt sind. Das Zubehör besteht aus Anleitungen, Objektiven, Okularen, Gittern, Kameras, Filtern, sowie dem Pentax 75. Über den Materialwagen sind die Teleskope und Koffer mit DADOS Spektrographen vorzufinden (Abb. 2). Diese sind hier im Hintergrund zu sehen. Neben der Sternspektroskopie ist auch die Mond-, sowie Sonnenspektroskopie

möglich. Dazu sind geeignete Filter auf Lager, damit die Himmelsobjekte gefahrenlos beobachtet und spektroskopiert werden können. Neben den Hauptteleskopen (C11 HD) sind auch kleinere Teleskope, wie der Pentax, auf den Halterungen verwendbar. Das Guiding erfolgt durch eine Fernbedienung, durch welche das automatische Ansteuern von Sternen möglich ist. Der DADOS Spektrograph, sowie verschiedene Kameras werden am hinteren Ende des Teleskops befestigt. Dadurch sind nicht nur reine Beobachtungsarbeiten möglich, sondern auch die Spektroskopie. Diese kann durchgeführt werden, indem ein Laptop an das System angeschlossen wird und man über diesen und die Fernbedienung den kompletten Aufbau steuern kann.

Abbildung 2: Ausziehbare Schubladen im Aufenthaltsraum von Station 7 mit C11 Teleskopoptik (links)

Der Beobachtungsraum von Station 7 beinhaltet ein 12,5‘‘ Cassegrain-Teleskop (Abb. 3). Außerdem verfügt diese Station über ein abfahrbares Dach. Zum Steuern der siebten Station sowie zur Arbeit an astronomischen Objekten stehen im Aufenthaltsraum Computer bereit (Abb. 4).

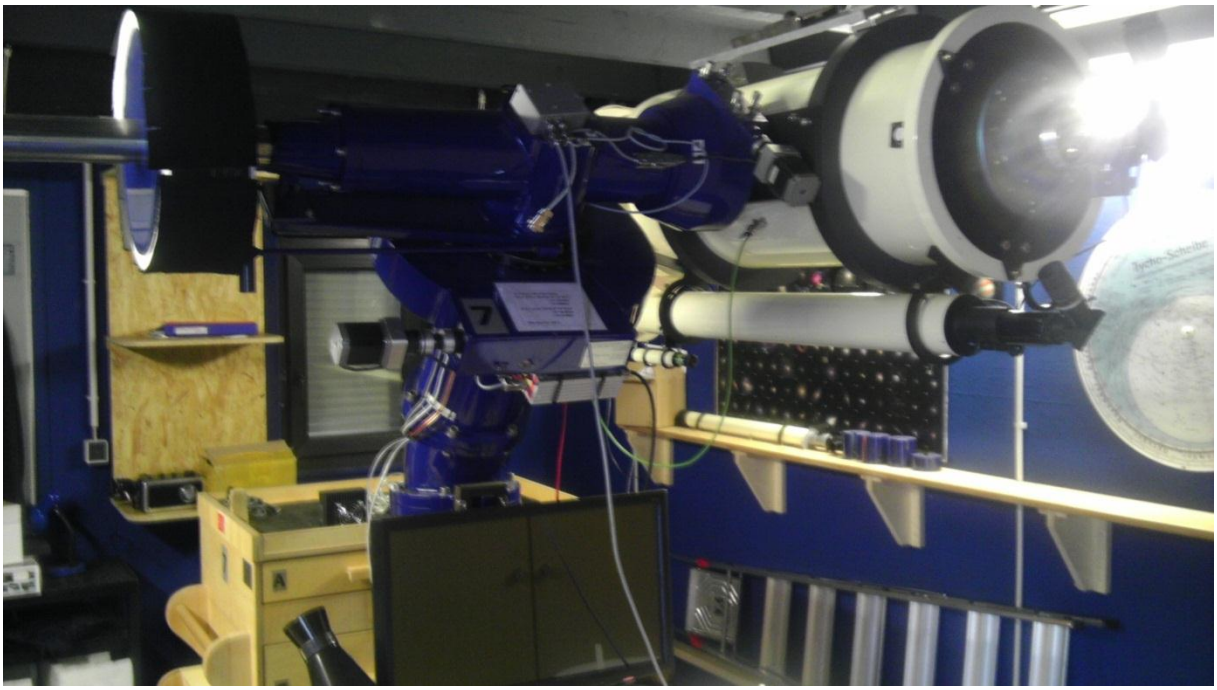


Abbildung 3: Das siebte Teleskop (12,5-Zoll Newton-Cassegrain)

Abbildung 4: Rechts: Ein Arbeitscomputer, Links: Die Tür die zur siebten Station mit dem größeren Teleskop führt

1.2 Auswahl des Themas

Nachdem nun also feststand, dass wir uns mit den Sternen befassen wollten, galt es ein passendes Thema für unsere Facharbeit zu finden. Als erstes kamen uns Nebel in den Sinn, da bei diesen verschiedene Arten von Sternen aufeinander treffen und sie deshalb überaus interessante und schöne Objekte am Himmel darstellen. Aufgrund des Winterwetters und der bereits abgeschlossenen Vergabe der Themen konnten wir unseren Wunsch jedoch nicht in die Tat umsetzen.

Es galt ein neues Thema zu finden. Uns wurden verschiedene Themen von unserem Lehrer, Herrn Winkhaus und unserem Betreuer, Herrn Koch vorgestellt. Mit der Software namens „Stellarium“ hatten wir die Sterne abgesucht. Dabei fiel uns ein spezielles Leuchten eines Himmelskörpers auf. Wir fanden heraus, dass es sich hierbei um den Stern Gamma Cassiopeiae handelt, welcher eine Wasserstoffhülle besitzt, die für das „spezielle Leuchten“ verantwortlich ist. Unser Betreuer Herr Koch schlug diesen Stern als Facharbeitsthema vor und aufgrund der Faszination, welche der Stern bei uns auslöste, gingen wir sofort auf diesen Vorschlag ein.

1.3 Wahl des Schwerpunktes

Nachdem wir das Thema für unsere Facharbeit festgelegt hatten, mussten wir uns entscheiden, welchen Schwerpunkt wir setzen wollten. Diese Entscheidung fiel uns leicht, da unser Thema Gamma Cassiopeiae bereits feststand. Wir hatten die Möglichkeit zwischen Astrofotografie und Spektroskopie zu wählen. Das Besondere unseres Objektes stellt wie bereits erwähnt, seine rot leuchtende Wasserstoffhülle dar. Deswegen wählten wir die Spektroskopie. Denn wir wollten den Stern aufs Genauste untersuchen und sehen, welche Besonderheiten durch die Wasserstoffhülle entstehen. Außerdem brachten wir Vorkenntnisse aus einem Aufbaukurs im Bereich der Spektroskopie mit.

2. Aufbau des Teleskops an der Sternwarte

Der Aufbau des Teleskops an der Sternwarte dient der Aufnahme von Spektren. Die Sternwarte befindet sich auf dem Dach des Gymnasiums. [1] Dort sind Teleskopmontierungen, welche man ansteuern kann, fest installiert (Abb. 5). Zuerst wird die Haube entfernt. Dazu trennt man die Stromverbindung, welche durch die Ummantelung, die sogenannte Haube, einen Lüfter versorgt.

Abbildung 5: Im Vordergrund: Abgedeckte Stationen, im Hintergrund: Aufgebaute Stationen

Die Haube wird beiseite gestellt und dann wird das Teleskop C11 HD aus Station 7 (hier im Hintergrund zu sehen) geholt. Dieses wird anschließend auf der Montierung befestigt (Abb. 6). Dazu muss es schräg auf eine Schiene geschoben werden. Danach wird das Teleskop so gekippt, dass es sich genau in der Halterung befindet und mit Schrauben, welche sich an der Schiene befinden, gesichert (Abb. 6).

[1] Spektralklassifikationen Schneider, Facharbeit 2010/2011

Abbildung 6: Befestigung des Teleskops

Außerdem wird einer der sechs Materialwagen aus Station 7 geholt, damit das Zubehör, sowie die direkt notwendigen Gegengewichte angesetzt werden können.

Ein Gegengewicht wird mittig und das andere am Ende der Stange befestigt, indem die Schrauben festgezogen werden (in Abb. 7 auf den Gegengewichten zusehen).

Zum Schluss, wird eine Sicherungsschraube am Ende

Abbildung 7: Gegengewichte des C11

der Gegengewichtsstange aufgeschraubt. Diese verhindert das Abrutschen der Gegengewichte. Nun kann ein zusätzliches Teleskop, der Pentax 75 SDHF dem Materialwagen entnommen werden. Diesen kann man zur Zentrierung des Gesichtsfeldes auf

das gewünschte Objekt fixieren und zu weiteren Zwecken nutzen. Dieses Teleskop haben wir jedoch nicht benötigt.

Als nächstes wird die technische Ausrüstung aufbereitet. Dazu werden Tische und Stühle aus dem Treppenhaus geholt. Anschließend werden zwei Laptops, über die später die Aufnahmen gesteuert werden, angeschlossen. Als nächstes wird die Steuerung des Teleskops neben einen Laptop gelegt und mit der Montierungssteuerung verbunden (Abb. 8,9) und an den Strom angeschlossen (Abb. 10).

Abbildung 8: Schaltstation der Montierung, der 12 V Stecker kommt von der Handsteuerung

Abbildung 9: Handsteuerung und Netzteil

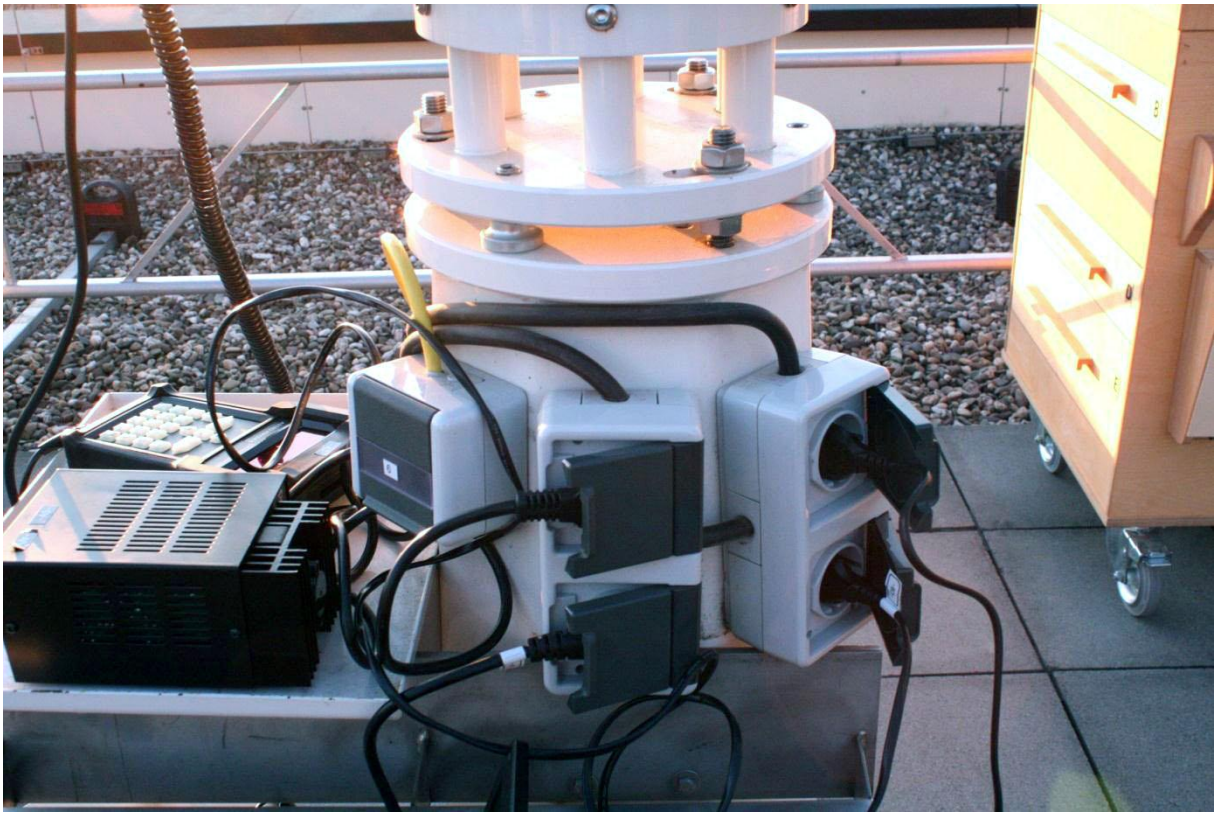


Abbildung 10: Steckdosen an der Säule

Danach werden die Schutzkappen, welche sich am Teleskop befinden, entfernt. Der nächste Schritt besteht darin, den DADOS Spektrographen zu montieren.

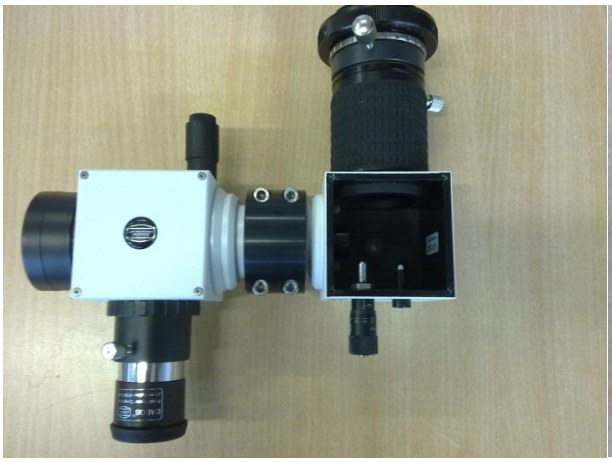


Abbildung 11: DADOS Spektrograph

Abbildung 12: Blazegitter

Dieser wird seiner Aufgabe angepasst. Dazu wird der DADOS-Koffer, welcher sich über dem Celestron 11 befindet (Abb. 2) im Aufenthaltsraum geöffnet. Dem Koffer wird das Gitter mit 900 Linien pro Millimeter (L/mm) entnommen, welches auf die kommende Aufgabe zugeschnitten ist (Abb. 12). Das Blazegitter ist grundsätzlich in drei Varianten 200 L/mm, 900 L/mm und 1800/mm vorhanden. Nach der Wahl des Gitters wird eine Schraube am DADOS gelockert und das Gitter eingesetzt (Abb. 11). Danach wird der Spektrograph geschlossen. Nun werden die Schutzkappen vom DADOS entfernt. Der DADOS wird mit verschiedenem Zubehör, wie zum Beispiel einem Slit Viewer und Okular (zum schnellen Anschluss an die Kamera) für seine Anbringung am Teleskop präpariert. Danach wird der DADOS mit dem Teleskop verbunden und die Kamera (eine modifizierte EOS 450, optimiert für astronomische Zwecke) angeschlossen. Diese wird sogleich mit dem Laptop verbunden. Danach muss das Spektrum scharfgestellt werden. Dazu benutzt man eine Lampe, die man bei Dunkelheit in das Teleskop hält. Nun stellt man am Regler des Spektrographen ein scharfes Bild ein und legt die dafür verwendete Lampe wieder weg. Mit einer Software (EOS Utility) ist man in der Lage die Kamera über den Laptop zu steuern. Das angesteckte Okular wird genutzt, um mit Hilfe der Handsteuerung das gewünschte Objekt im Gesichtsfeld zu zentrieren. Ist dies geschehen, wird das Okular durch eine DMK-Kamera ersetzt, welche ebenfalls durch einen Laptop angesteuert werden kann. In diesem Falle macht man sich die Live View Funktion von EOS Utility zu Nutzen. Mit einem der Laptops wird der Spalt (wenn der Stern sich im Bild in zwei Teile aufspaltet) auf den Stern gerichtet und mit dem anderen wird der Auslöser für die Kamera betätigt.

3. Allgemeine Informationen Gamma Cassiopeiae

Das Thema dieser Facharbeit ist also der Stern γ Cassiopeiae (Abb. 13). Dieser befindet sich im Sternbild der Kassiopeia und gehört zu der Kategorie der Be Sterne. Das bedeutet, dass der Stern der Spektralklasse B zuzuordnen ist.

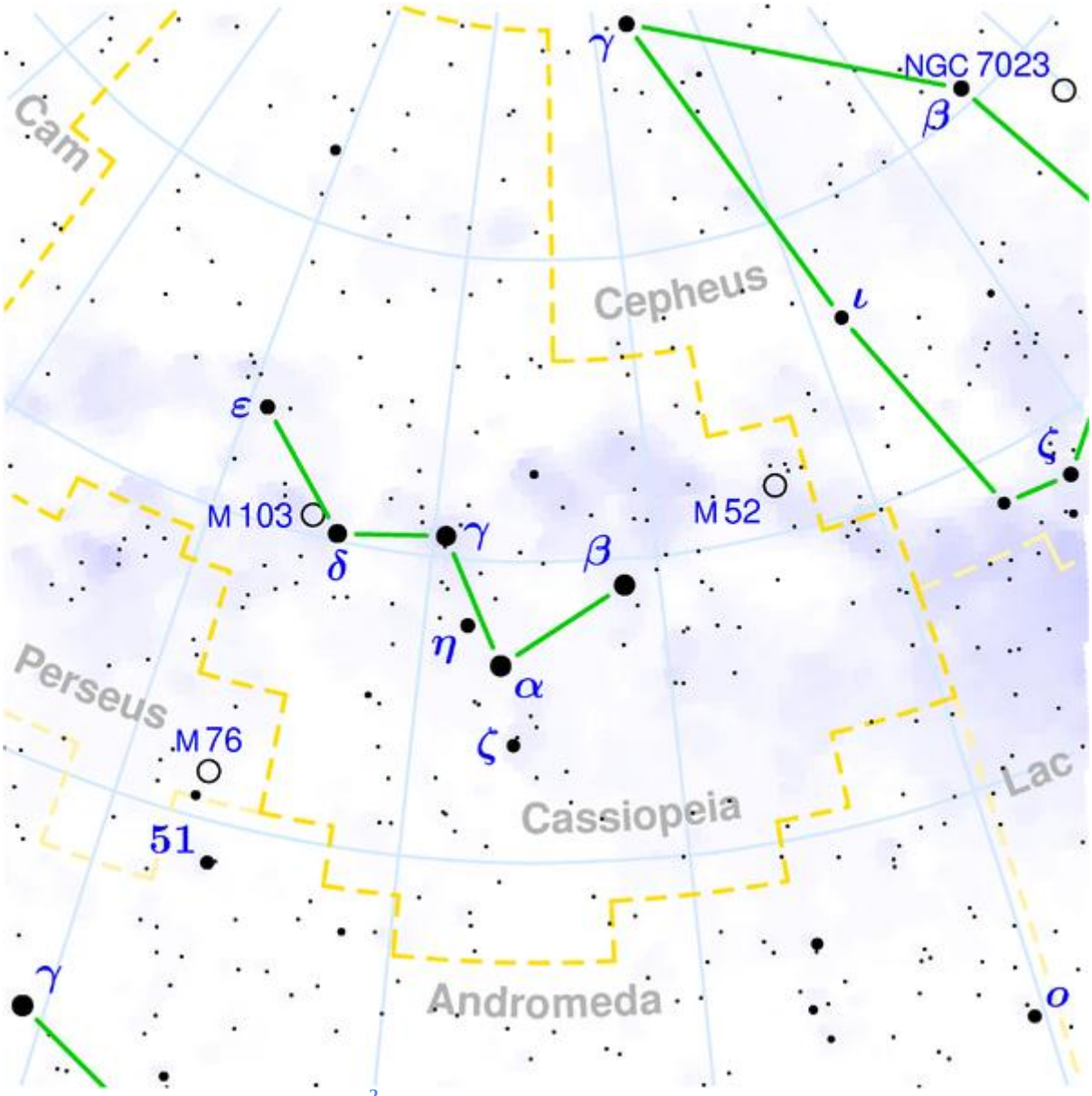


Abbildung 13: Das Sternbild der Kassiopeia[2]

Wie auf dem Bild zu erkennen, ist er der mittlere Stern des Himmels W' s. Die Bezeichnung γ steht für die Helligkeit des Sterns, das bedeutet, dass er der dritthellste Stern im Sternenbild Kassiopeia ist. Das Besondere an diesem Stern ist die Wasserstoffscheibe, welche ihn umgibt.

[2]http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cassiopeia_constellation_map.png&filetimestamp=20110319195402

Beobachtungsdaten Äquinoktium: J2000.0, Epoche: J2000.0	
Sternbild	Kassiopeia
Rektaszension	00h 56m 42,53s [1]
Deklination	+60° 43' 0,3" [1]
Scheinbare Helligkeit	2,15 mag [1]
Typisierung	
Spektralklasse	B0 IVe [1]
B−V-Farbindex	−0,15 [2]
U−B-Farbindex	−1,08 [2]
R−I-Index	−0,08 [2]
Veränderlicher Sterntyp	eruptiv
Astrometrie	
Radialgeschwindigkeit	(−4,8 ± 1,9) km/s [3]
Parallaxe	(5,94 ± 0,12) mas [4]
Entfernung [4]	(549 ± 11) Lj (168 ± 3) pc
Visuelle Absolute Helligkeit M_{vis}	−4 mag [Anm 1]
Eigenbewegung [4]	
Rek.-Anteil:	(+25,17 ± 0,08) mas/a
Dekl.-Anteil:	(−3,92 ± 0,08) mas/a
Physikalische Eigenschaften	
Masse	15 $M_\odot$
Radius	14 $R_\odot$
Leuchtkraft	70000 $L_\odot$
Oberflächentemperatur	25000 K
Andere Bezeichnungen und Katalogeinträge	
Bayer-Bezeichnung	γ Cassiopeiae
Flamsteed-Bezeichnung	27 Cassiopeiae
Bonner Durchmusterung	BD +59° 144
Bright-Star-Katalog	HR 264 [1]
Henry-Draper-Katalog	HD 5394 [2]
Hipparcos-Katalog	HIP 4427 [3]
SAO-Katalog	SAO 11482 [4]

Abbildung 14: Tabelle mit allgemeinen Informationenüber den Stern[4]

Abbildung 15: Gamma Cassiopeiae[3]

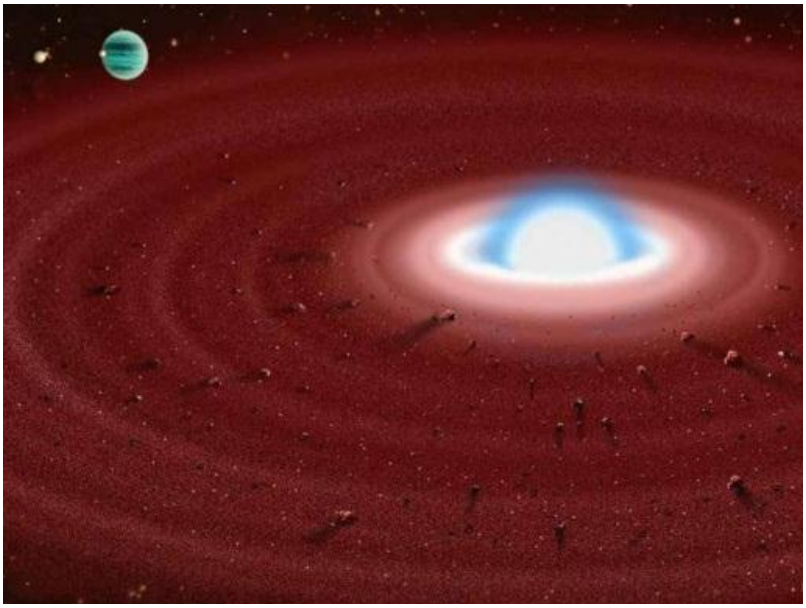


Abbildung 16: Gamma Cassiopeiae mit Wasserstoffscheibe (hier in rot)[5]

[3] http://www.google.de/imgres?imgurl=http://upload.wikimedia.org/wikipedia/it/thumb/6/6e/Sh-2_185.jpg/300px-Sh-2_185.jpg&imgrefurl=http://it.wikipedia.org/wiki/Gamma_Cassiopeiae&usg=__A0LmZHA9jbek4xP2pbIf2Sj6V6k=&h=300&w=300&sz=38&hl=de&start=20&zoom=1&tbnid=l4OFgF-sCvlGVM:&tbnh=164&tbnw=176&ei=jowhT5GdHYPNswbLsIH8Bw&prev=/search%3Fq%3Dgamma%2Bcassiopeiae%26hl%3Dde%26client%3Dfirefox-a%26hs%3DPAU%26sa%3DX%26rls%3Dorg.mozilla:de:official%26biw%3D1280%26bih%3D900%26tbm%3Disch%26prmd%3Dimvns&itbs=1&iact=hc&vpx=805&vpy=519&dur=519&hovh=201&hovw=206&tx=165&ty=65&sig=105018701527668708148&page=2&ndsp=25&ved=1t:429,r:8,s:20

4. Spektroskopie

Was bedeutet der Begriff Spektralklasse?[6][7]

Eine Spektralklasse gibt Auskunft über das Spektrum eines Sterns. Das Spektrum eines Sterns ist die Zusammensetzung des Lichts, welches er ausstrahlt in Kombination mit möglichen Emissions- und Absorptionslinien. Dazu wurden die Spektren von verschiedenen Sternen, welche als Beispiel für eine Spektralklasse standen, mit anderen verglichen. Die Kategorisierung der Spektralklassen mit frühe (O bis A), mittlere (F bis G), und späte (die übrigen Spektralklassen) Spektralklassen ist durch die falsche Annahme entstanden, dass die Spektralklassen Auskunft über das Entwicklungsstadiums des entsprechenden Sterns geben.

Die sieben Grundklassen sind M, K, G, F, A, B und O. Zudem gibt es noch drei Klassen für Braune Zwerge und „drei Unterklassen für durch die Nukleosynthese verursachten chemischen Besonderheiten roter Riesensterne[8] (Abb. 17).“

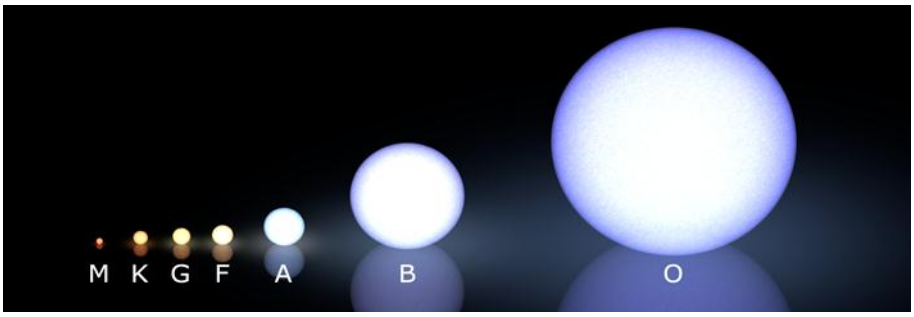


Abbildung 17: Schematischer Vergleich der Spektralklassen O-M für Hauptreihensterne[9]

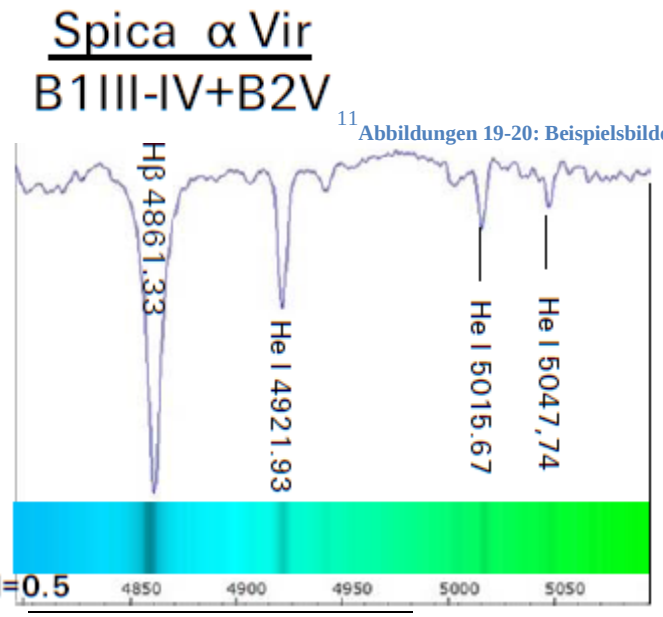
[4] http://de.wikipedia.org/wiki/Kassiopeia_%28Sternbild%29
[5] http://spektroskopieforum.vdsastro.de/files/gamma_Cas_458.jpg
[6] Walker Spektralatlas Seite 11
[7] http://de.wikipedia.org/wiki/Spektralklasse
[8] http://de.wikipedia.org/wiki/Spektralklasse
[9] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8b/Morgan-Keenan_spectral_classification.png

Klasse	Charakteristik	Farbe	Temperatur in K	typische Masse *für die Hauptreihe* in $M_\odot$	Beispielsterne
O	Ionisiertes Helium (He II)	blau	30000–50000	60	Mintaka (δ Ori), Naos (ζ Pup)
B	Neutrales Helium (He I) Balmer-Serie Wasserstoff	blau-weiß	10000–28000	18	Rigel, Spica, Achernar
A	Wasserstoff, Calcium (Ca II)	weiß (leicht bläulich)	7500–9750	3,2	Wega, Sirius, Altair
F	Calcium (Ca II), Auftreten von Metallen	weiß-gelb	6000–7350	1,7	Prokyon, Canopus, Polarstern
G	Calcium (Ca II), Eisen und andere Metalle	gelb	5000–5900	1,1	Tau Ceti, Sonne, Alpha Centauri A
K	Starke Metalllinien, später Titan(IV)-oxid	orange	3500–4850	0,8	Arcturus, Aldebaran, Epsilon Eridani, AlbireoA
M	Titanoxid	rot-orange	2000–3350	0,3	Beteigeuze, Antares, Kapteyns Stern, Proxima Centauri

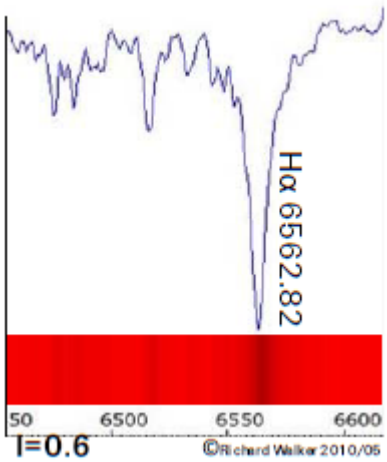
Abbildung 18: Dieses Schaubild zeigt die besonderen Charakteristika, sowie Farbe, Temperatur, typische Massen und Beispielsterne für die entsprechenden Klassen [10]

4. 1 Spektralklasse B

Die Spektralklasse B zeichnet sich durch die Balmerserie aus, sowie durch die Absorptionslinie/ Emissionslinie He I, welche durch Helium entsteht. Bei der Balmerserie sind Hα (im langwelligen Bereich), sowie Hβ (im kurzwelligen Bereich) als Spektrallinien zu erkennen. Das bedeutet, dass Wasserstoff und Helium in den entsprechenden Wellenlängenbereichen die elektromagnetische Strahlung emittiert oder absorbiert. Dies ist danach am Spektrum sehr gut zu erkennen (Abb. 19, 20).



[11] **Abbildungen 19-20: Beispielsbilder für die Balmerserie, sowie He I**



[10] http://de.wikipedia.org/wiki/Spektralklasse
[11] Richard Walker Spektralatlas Seite 35

Es wird angenommen, dass ein Drittel der hellen Sterne, die wir sehen, B-Sterne sind.

4.2 Be Sterne

Allerdings sind Be Sterne zugleich sehr selten. Be-Sterne sind Sterne in frühen Stadien, welche veränderliche Emissionslinien in den Frauenhoferlinien aufweisen.[12]Das „e“ im Namen Be steht also für die veränderlichen Emissionen. Zudem besitzen Be-Sterne hohe Rotationsgeschwindigkeiten an der Sternoberfläche mit 200 und 500 km/h.[13]Diese führen zu einer großen Breite der photosphärischen Absorptionslinien. Denn die Abstände im Spektrum werden durch die Rotationsgeschwindigkeiten bestimmt, da hier die Wellenlängen-verschiebung gemessen wird.

4.3 Bedeutung der Spektroskopie

Aber vorerst sollte geklärt werden, welche Bedeutung das Spektroskopieren besitzt.

Einen Stern zu spektroskopieren bedeutet, das Licht, dass dieser ausstrahlt, zu analysieren.

Das Spektrum ist der Fingerabdruck eines Sterns. Das Licht wird aufgespalten und so ist erkennbar, in welchen Wellenlängenbereichen der Stern besonders aktiv ist. Früher wurde dies mit Prismen erreicht. Diese wurden vor das Teleskop gehalten und das aufgefangene Licht wurde anschließend analysiert. Inzwischen wurden andere Techniken entwickelt. Das Prinzip ist ähnlich, der Unterschied besteht darin, dass bei der Spektroskopie mit dem Prisma die Lichtbrechung und bei der Spektroskopie mit dem Gitter, die Lichtbeugung genutzt wird. Man spaltet das Licht auf und kann so erkennen, welche Spektrallinien im Spektrum des Sterns mehr oder weniger vorhanden sind. Die Spektrallinie definiert sogleich die Farbe des aufgefangen Lichts.

[12] http://de.wikipedia.org/wiki/Be-Stern
[13] http://de.wikipedia.org/wiki/Be-Stern

Ein gutes Beispiel für das erhaltene Licht stellt die Sonne dar. An dem Spektrum der Sonne kann man schnell erkennen, bei welcher Wellenlänge das meiste Licht ausgesandt wird. Die Sonne sendet Licht in einem grüngelben Bereich aus (Abb. 22).

Nach dieser Erkenntnis wissen wir, wie wir das Licht eines Sterns für uns einteilen können, aber dies ist irrelevant, weil wir nur auf eine Art und Weise sehen können.

Eigentlich würde dies stimmen, aber im Spektrum sehen wir nicht nur, welches Licht in welchen Wellenlängenbereichen wie stark vorhanden ist, sondern auch so genannte Absorptions- und Emissionslinien.

Wie entstehen diese und welche Bedeutung besitzen sie?

Um diese Frage verstehen zu können, muss man sich erst einmal über den Begriff des Lichtes bewusst werden. Was das Licht für uns und die Natur bedeutet. In der heutigen Zeit wird Licht als eine Energieform dargestellt. Das Augenmerk ist hier auf das Wort Energie zu richten. Wir wissen bereits, dass Sterne Sonnen sind und dass diese selbst Licht produzieren, da sie sonst Planeten wären (nicht selbststrahlende Objekte, welche um die entsprechende Sonne kreisen).

Diese Energie entsteht aufgrund von chemischen Prozessen.

Wenn wir als Beispiel unsere Sonne nehmen, verschmelzen dort Wasserstoffatome zu Helium. Die im Zentrum der Sonne freigesetzte Strahlung wird in der kühleren Sonnenatmosphäre (Photosphäre) absorbiert. Da Wasserstoff für diese Linien verantwortlich ist, werden diese Linien Hα und Hβ etc. genannt. Hierbei handelt es sich um Absorptionslinien (Abb. 22).

(Balmerserie)

Diese Linien sind, wie von der Tabelle bereits abzulesen mit den Buchstaben C (Hα) und F (Hβ) gekennzeichnet.

Linienbez.	Element	Wellenlänge Å
A – Band	O_2	7594 - 7621
B – Band	O_2	6867 - 6884
C	H (α)	6563
a – Band	O_2	6276 - 6287
D 1, 2	Na	5896 & 5890
E	Fe	5270
b 1, 2, 3	Mg	5184/73/69
F	H (β)	4861
d	Fe	4668
e	Fe	4384
f	H (γ)	4340
G – Band	CH	4300 - 4310
g	Ca	4227
h	H (δ)	4102
H	Ca II	3968
K	Ca II	3934

Abbildung 21: Tabelle der Frauenhoferlinien[14]

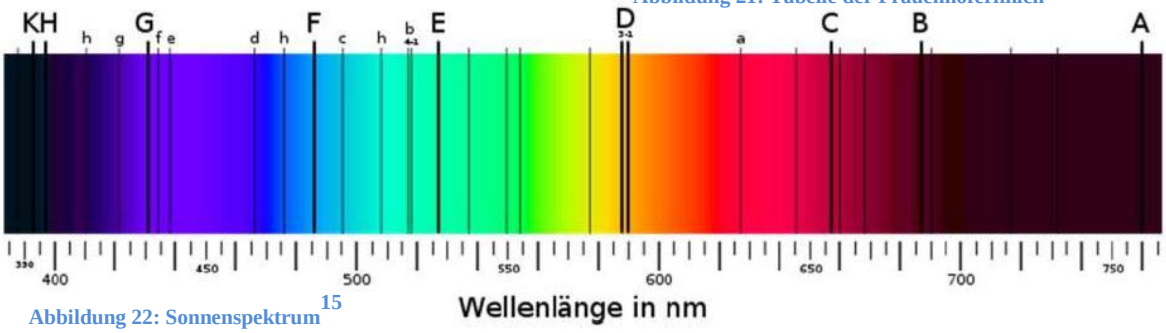


Abbildung 22: Sonnenspektrum[15]

4.3 Spektroskopie mit einem Prisma

Die ursprüngliche Möglichkeit das Licht aufzuspalten bestand darin, ein Prisma vor beziehungsweise hinter das Teleskop zu halten. Diese Möglichkeit benötigte allerdings das Vorbeipeilen am Zielobjekt, um das Licht des Objektes einzufangen. Wenn das Licht aus einer Richtung kommt, fällt es schräg auf einer der Seitenflächen des Prismas. Das Licht gelangt weiter ins Prisma und wird von diesem beim Verlassen erneut gebrochen (Abb. 24). Wie auf dem Bild zu erkennen, wird das Licht mit größeren Wellenlängen (rot), welches weniger Energie beinhaltet schwächer gebrochen, Licht mit kleinen Wellenlängen(violett) ist energiereicher und wird stärker gebrochen (Abb. 23,24).

[14] Walker Spektralatlas Seite 13
[15] Walker Spektralatlas Seite 13

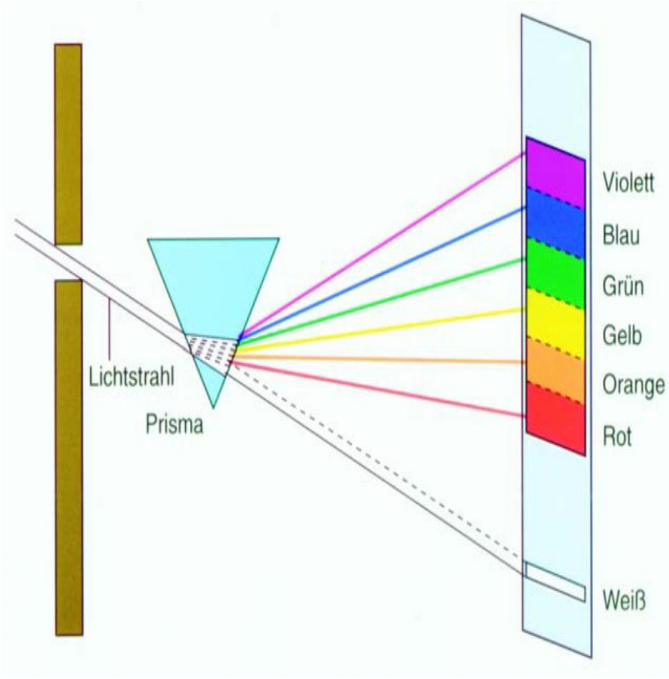


Abbildung 23: Lichtaufspaltung bei einem Prisma[16]

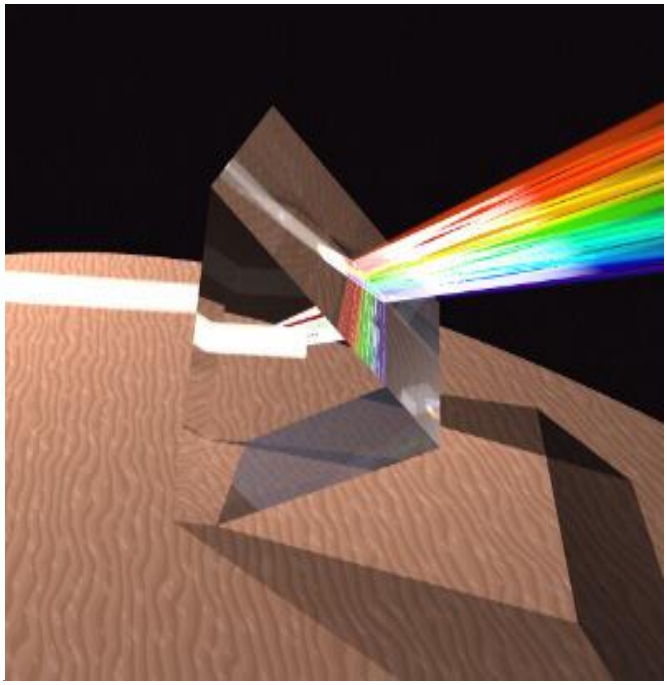


Abbildung 24: 3D Darstellung eines Prismas[17]

4.4 Spektroskopie mit einem Gitter (Doppel- bzw. Mehrfachspalt)

Die Methode, Licht mit Hilfe eines Gitters zu spektroskopieren, hat das Spektroskopieren mit dem Prisma abgelöst. Dies liegt unter anderem am Größenunterschied, sowie an der besseren Technik. Mit der Gitterspektroskopie ist es möglich unterschiedlich stark leuchtende Gesichtsfelder zu spektroskopieren. Umso leuchtstärker das Objekt, umso mehr Linien pro Millimeter werden beim Gitter benutzt. [18] Diese Gitter können jedoch nur in Kombination mit einem Spektrographen verwendet werden. Denn diese spalten das Licht lediglich in ein Spektrum auf (Verweis auf Kapitel 5.2) (Abb. 25).

[16] Material CD von Herrn Winkhaus

[17] http://www.google.de/imgres?q=prisma&um=1&hl=de&client=firefox-a&hs=WO8&sa=N&rls=org.mozilla:de:official&biw=1280&bih=901&tbm=isch&tbnid=kLRwWWtK7gRkoM:&imgrefurl=http://www.bryceforum.de/faq001.htm&docid=krSqRhOfstqYtM&imgurl=http://www.bryceforum.de/prisma.jpg&w=400&h=300&ei=V6NsT62TBKnS4QTAyanAAg&zoom=1&iact=hc&vpx=554&vpy=537&dur=1850&hovh=194&hovw=259&tx=152&ty=88&sig=105018701527668708148&page=1&tbnh=159&tbnw=241&start=0&ndsp=23&ved=1t:429,r:14,s:0

[18] Facharbeit: Spektralklassifikation Schneider

Abbildung 25: Blazegitter (aus dem DADOS Spektrographen ausgebaut)

Diese Gitter arbeiten mit dem Doppel- oder Mehrfachspaltprinzip. Dieses unterscheidet sich deutlich vom Prisma. Denn das Prisma wird aufgrund der Lichtbrechung im Prisma genutzt, das Gitter jedoch arbeitet mit der Lichtbeugung. Die Abbildung zeigt, wie Licht von hinten auf das Gitter strahlt, an den Spalten entstehen Elementarwellen (Abb. 26). Das gebeugte Licht interferiert, eine Abfolge von Farben entsteht, welche anschließend betrachtet werden kann.

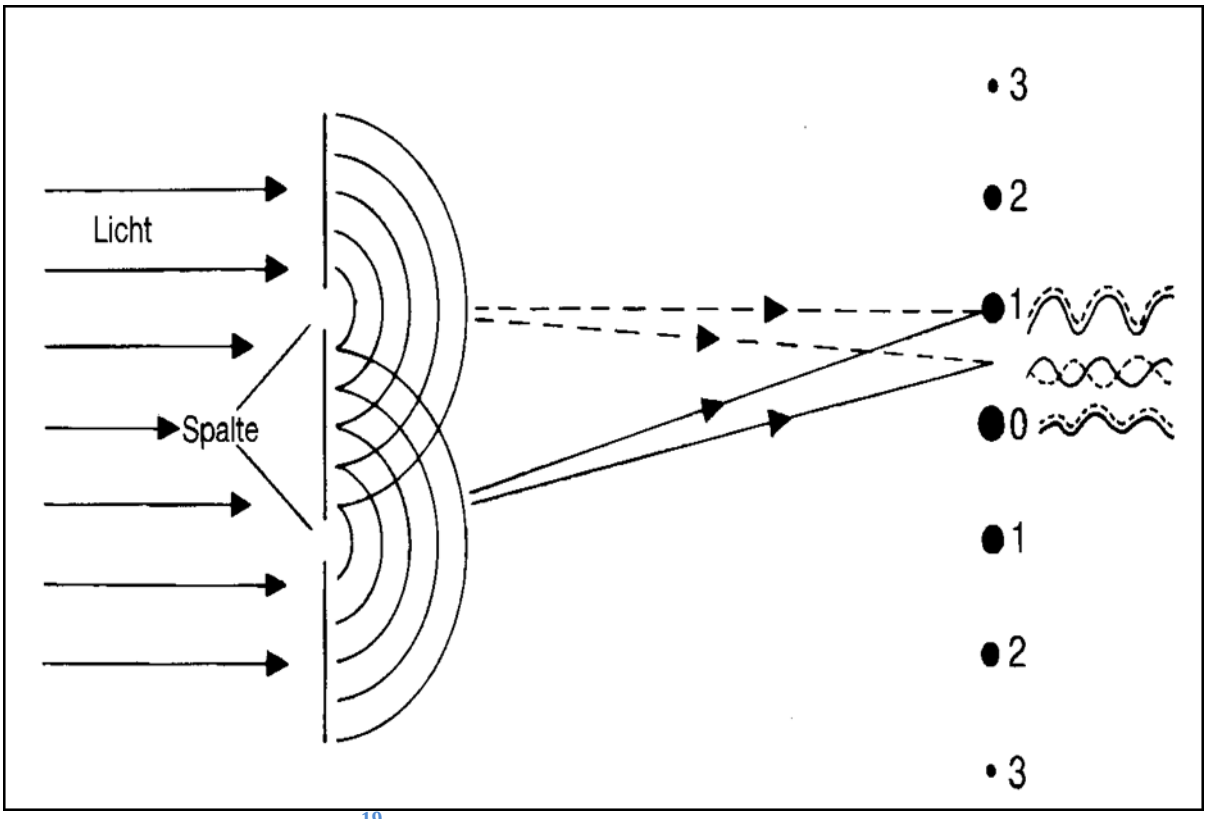


Abbildung 26: Das Doppelspaltprinzip[19]

Diese Abbildung zeigt, wie zwei Elementarwellenberge sich überschneiden (Abb. 26). Der Begriff in der Fachsprache bedeutet Interferenz. Die Interferenz kann entweder konstruktiver oder destruktiver Art sein. Wenn sie konstruktiv ist, dann ergänzen sich zum Beispiel zwei Wellenberge oder Wellentäler, das bedeutet sie addieren sich. Wenn die Interferenz jedoch negativ ist, dann treffen Wellental und Wellenberg aufeinander, sie ziehen sich in diesem Falle voneinander ab.

4.5 Spektren

Als ein Spektrum versteht man einen Farbstreifen, welcher das spektroskopierte Licht klassifiziert. Bestimmte Absorptions- sowie Emissionslinien geben Auskunft über die Zusammensetzung des Sterns, welcher im Gesichtsfeld spektroskopiert wird. Dabei wird an der x-Achse abgelesen, bei welchen Wellenlängen die Linien auftreten, um dann genau sagen zu können, um welches Element es sich handelt. [20] Die gemessenen Wellenlängen werden im Sichtbaren, in Werten von 360 bis 780 Nanometer angegeben (Abb. 27).

[19] Material CD von Herrn Winkhaus
[20] Walker Spektralatlas

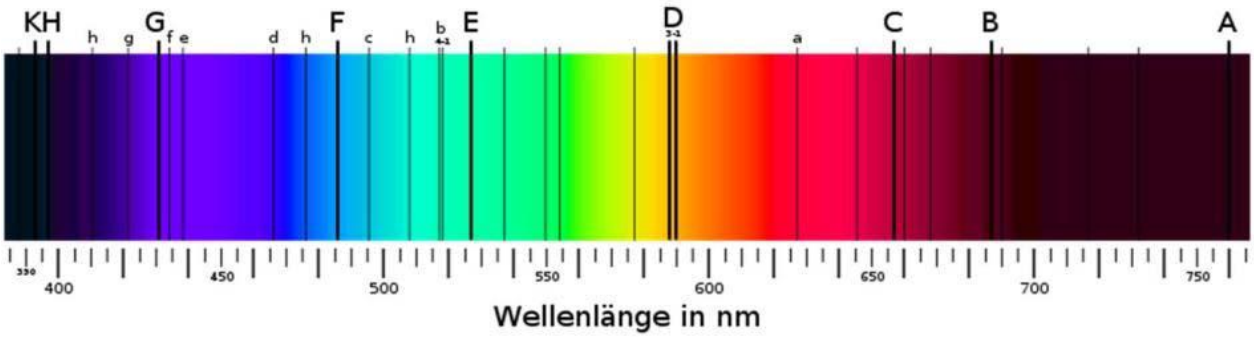


Abbildung 27: Das Sonnenspektrum mit den Frauenhoferlinien[21]

Das kontinuierliche Spektrum

Das kontinuierliche Spektrum ist, wie der Name bereits sagt, kontinuierlich (Abb. 28). Dies bedeutet, dass dieses nicht unterbrochen oder verstärkt wird. Die Farben sind nach der Wellenlänge nach angeordnet, dies bedeutet, dass das Spektrum, lang-, sowie kurzwelliges Licht zeigt.

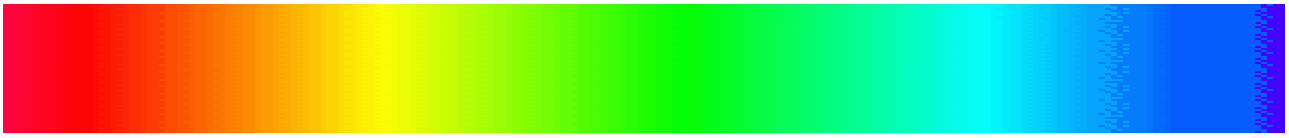


Abbildung 28: Ein kontinuierliches Spektrum[22]

Das Emissionsspektrum

Ein Emissionsspektrum ist ein Spektrum, das Emissionslinien aufweist (Abb. 29).

Die Linien geben beim Spektrum an, welches Element elektromagnetische Strahlung aussendet. Die Farben dienen lediglich zur Orientierung, um die Wellenlängenbereiche zu erkennen.

[21] Walker Spektralatlas

[22] http://www.google.de/imgres?q=Spektren&hl=de&client=firefox-a&hs=nuS&sa=X&rls=org.mozilla:de:official&biw=1280&bih=901&tbm=isch&prmd=imvns&tbnid=678eAg2-mPxh_M:&imgrefurl=http://www.leifiphysik.de/web_ph12/umwelt_technik/10absorption/optisch.htm&docid=T6xgjToxoTm1KM&imgurl=http://www.leifiphysik.de/web_ph12/umwelt_technik/10absorption/spektren.gif&w=600&h=381&ei=IqFsT6aMGMj04QSmrui_Ag&zoom=1&iact=hc&vpx=177&vpy=202&dur=669&hovh=179&hovw=282&tx=154&ty=115&sig=105018701527668708148&page=1&tbnh=124&tbnw=195&start=0&ndsp=20&ved=1t:429,r:0,s:0

Abbildung 29: Ein Emissionsspektrum[23]

Das Absorptionsspektrum

Der Unterschied zum Emissionsspektrum liegt darin, dass beim Absorptionsspektrum die Atome die elektromagnetische Strahlung in bestimmten Wellenlängenbereichen absorbieren.[24] Die Elemente, die das Licht absorbieren, kann man erkennen, indem man sich das Spektrum und die Wellenlängenbereiche, in denen die Absorptionslinien auftreten, ansieht (Abb. 30).

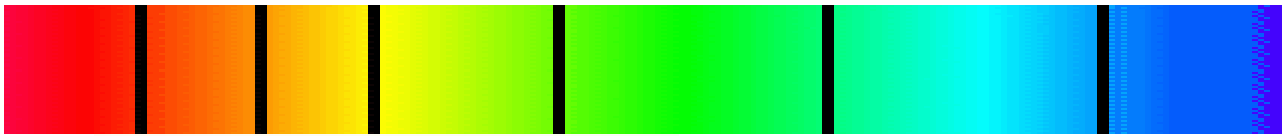


Abbildung 30: Das Absorptionsspektrum[25]

4.6 Der Dopplereffekt

Auf der Abbildung ist zu sehen, dass links das Licht blau wirkt und rechts rot (Abb. 31). Dies hat mit den Wellenlängen zu tun. Langwelliges Licht geht in den blau/ violetten Bereich und

[23] http://www.google.de/imgres?q=Spektren&hl=de&client=firefox-a&hs=nuS&sa=X&rls=org.mozilla:de:official&biw=1280&bih=901&tbm=isch&prmd=imvns&tbnid=678eAg2-mPxh_M:&imgrefurl=http://www.leifiphysik.de/web_ph12/umwelt_technik/10absorption/optisch.htm&docid=T6xgjToxoTm1KM&imgurl=http://www.leifiphysik.de/web_ph12/umwelt_technik/10absorption/spektren.gif&w=600&h=381&ei=IqFsT6aMGMj04QSmrui_Ag&zoom=1&iact=hc&vpx=177&vpy=202&dur=669&hovh=179&hovw=282&tx=154&ty=115&sig=105018701527668708148&page=1&tbnh=124&tbnw=195&start=0&ndsp=20&ved=1t:429,r:0,s:0

[24] http://www.google.de/imgres?q=Spektren&hl=de&client=firefox-a&hs=nuS&sa=X&rls=org.mozilla:de:official&biw=1280&bih=901&tbm=isch&prmd=imvns&tbnid=678eAg2-mPxh_M:&imgrefurl=http://www.leifiphysik.de/web_ph12/umwelt_technik/10absorption/optisch.htm&docid=T6xgjToxoTm1KM&imgurl=http://www.leifiphysik.de/web_ph12/umwelt_technik/10absorption/spektren.gif&w=600&h=381&ei=IqFsT6aMGMj04QSmrui_Ag&zoom=1&iact=hc&vpx=177&vpy=202&dur=669&hovh=179&hovw=282&tx=154&ty=115&sig=105018701527668708148&page=1&tbnh=124&tbnw=195&start=0&ndsp=20&ved=1t:429,r:0,s:0

[25] http://www.google.de/imgres?q=Spektren&hl=de&client=firefox-a&hs=nuS&sa=X&rls=org.mozilla:de:official&biw=1280&bih=901&tbm=isch&prmd=imvns&tbnid=678eAg2-mPxh_M:&imgrefurl=http://www.leifiphysik.de/web_ph12/umwelt_technik/10absorption/optisch.htm&docid=T6xgjToxoTm1KM&imgurl=http://www.leifiphysik.de/web_ph12/umwelt_technik/10absorption/spektren.gif&w=600&h=381&ei=IqFsT6aMGMj04QSmrui_Ag&zoom=1&iact=hc&vpx=177&vpy=202&dur=669&hovh=179&hovw=282&tx=154&ty=115&sig=105018701527668708148&page=1&tbnh=124&tbnw=195&start=0&ndsp=20&ved=1t:429,r:0,s:0

kurzwelliges Licht in den roten. So ist das Licht, welches auf uns zukommt bläulicher. Das Licht, welches von uns weg zeigt jedoch rötlicher. Dies spiegelt also die Lichtintensität wieder. Ein Beispiel aus dem Alltag wäre ein Auto. Wenn man ein Kind fragt, welche Geräusche ein Auto macht, welches auf einen zukommt, wird es antworten, dass das Geräusch, dass das Auto beim Näherkommen macht, dunkler und beim Wegfahren heller ist. Dieses Verhalten hat große Ähnlichkeit mit dem des Lichtes, da es im Prinzip das Gleiche ist. Licht, das auf uns zukommt, wirkt also bläulicher und Licht das von uns weg geht rötlicher. Der entscheidende Punkt ist jedoch, dass man anhand der Wellenlängenverschiebung die Rotationsgeschwindigkeit des Körpers, der das Licht aussendet, ablesen kann.

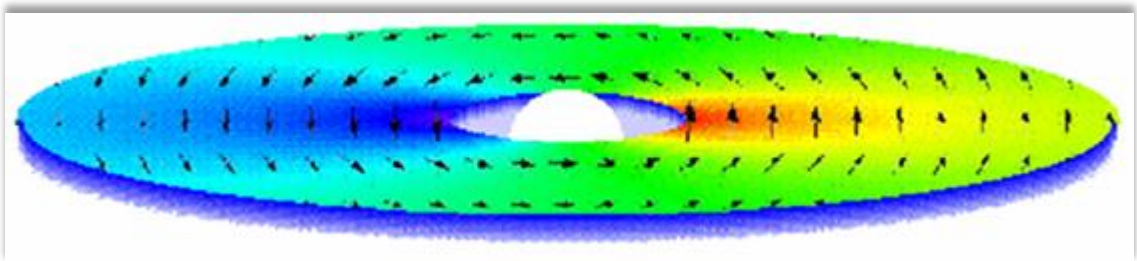


Abbildung 31: Gamma Cassiopeiae mit Wasserstoffscheibe[26]

Auf dieser Abbildung ist der Stern Gamma Cassiopeiae im Zentrum zu erkennen. An der Wasserstoffscheibe, welche sich gegen den Uhrzeigersinn um Gamma Cassiopeiae dreht, lässt sich die Wellenlängenverschiebung erkennen. Diese zeigt, dass das Licht, welches sich von uns wegbewegt rotverschoben ist, und das Licht, das sich auf uns zubewegt, blauverschoben ist. Mit Hilfe des Dopplereffekts und der Wellenlängenverschiebung ist es nun möglich, die Rotationsgeschwindigkeit von Gamma Cassiopeiae zu errechnen. Die Formel besagt, dass die Wellenlängenverschiebung geteilt durch die Wellenlänge gleich der Rotationsgeschwindigkeit geteilt durch die Vakuumlichtgeschwindigkeit ist. Die von dem Spektrum abgelesene Wellenlängenverschiebung durch die Wellenlänge muss also lediglich mal die bereits bekannte Vakuumlichtgeschwindigkeit des Lichtes geteilt werden, um die Rotationsgeschwindigkeit zu erhalten.

Die Formel lautet: $\Delta\lambda/\lambda=v/c$

c=Vakuumlichtgeschwindigkeit

v=Rotationsgeschwindigkeit

[26] http://home.arcor.de/l.schanne/spektren/spektren_von_sternen/Be/BeSterne.htm

$\Delta\lambda$=Wellenlängenverschiebung

Daraus resultiert: $\Delta\lambda/\lambda * c = v$

5. Das Sternbild Kassiopeia

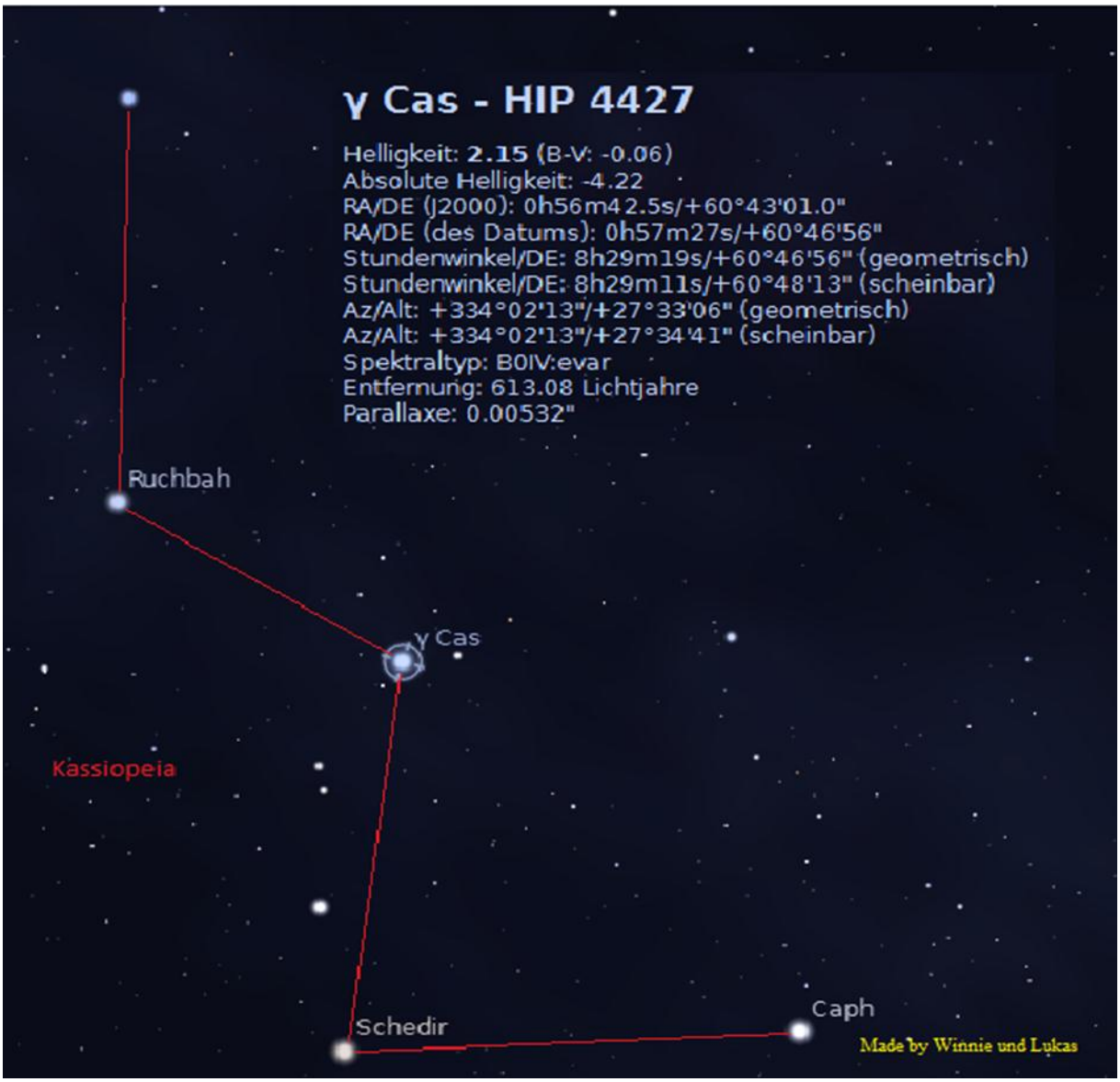


Abbildung 32: Sternbild Kassiopeia[27]

Das Sternbild Kassiopeia besteht aus mehreren Sternen, die 5 „Hauptsterne“ (die mit roten Linien verbunden wurden) kennzeichnen das Objekt (Abb. 32,33). Diese heißen (von oben

[27] Stellarium

nach unten) Segin (ε Cas), Ruchbah(δ Cas), Tsih (Gamma Cassiopeiae), Schedir (α Cas) und Caph (β Cas). [28] Die griechischen Buchstaben, wie α und β geben hierbei an, wie hell die entsprechenden Sterne leuchten. Der Stern, der mit α Cas bezeichnet wird, ist also der hellste Stern im Sternbild Kassiopeia. Unser Stern ist somit der dritthellste Stern des Himmelsobjekts.

5.1 Benennungen des Sternbilds (Geschichte)

Die alten Griechen liebten es, Mythen aus alter Zeit mit den Sternen am Himmel zu verknüpfen. Sie wollten ihre Geschichte auf etwas „Ewiges übertragen“. Sie waren zu ihrer Zeit bereits begeisterte Astronomen und haben die Sterne bereits zur Orientierung bei Nacht genutzt. Außerdem wurden die Sonnenuhren gerne für die Zeitmessung verwendet. Die Kassiopeia ist eine Figur aus den Mythen der Griechen. Die Besonderheit daran ist, dass ihr ein Sternbild, also eine Vielzahl von Sternen, zugewiesen wurde. Die Geschichte der Kassiopeia ist eng mit anderen mythologischen Figuren, wie zum Beispiel Perseus verbunden. Diese Figuren sind ebenfalls in den Sternbildern wiederzufinden.

5.2 Abgrenzung des Sternenbilds der Kassiopeia

Die griechische Mythologie ist eine schwer zu analysierende jedoch umfangreiche. Viele Geschichten wurden von mehreren Autoren verschieden interpretiert und lediglich aus verbal verbreiteten Sagen schriftlich festgehalten. Das Problem bestand darin, dass die daraus resultierende Mythologie abhängig von Faktoren wurde, die es den Wissenschaftlern heutzutage nahezu unmöglich macht, die griechische Mythologie als Ganzes zu rekonstruieren. Teilweise wurden die Sagen durch Dialektfehler fehlinterpretiert oder durch Unterschiede geistigen Wissens an verschiedenen Orten falsch korrigiert. Als Hilfe für die Rekonstruktion nimmt man meist Autoren, die in der entsprechenden Zeit lebten. Der bekannteste Autor der griechischen Mythologie war Homer. Auf ihn verweisen die meisten heutigen Schreiben und Deutungen. Nach Homer ist Kassiopeia eine Herrscherin Äthiopiens und Frau Kepheus'. Sie bekam ihre heutige Berühmtheit durch die Behauptung, ihre Tochter Andromeda sei hübscher als die Nereiden, die Nymphen des Meeres. Die Götter, sind in Homers Theorie meist als eingebildete Wesen beschrieben, die sich von den Menschen

[28] http://de.wikipedia.org/wiki/Gamma_Cassiopeiae

abheben und nichts mit ihnen gemein haben wollen. So kam es also, dass sich die Nereiden beleidigt fühlten und sich an den Meeresgott Poseidon wandten. Er sah in dem Fall seinen Ruf beschädigt und plante, den Menschen langfristig Respekt aufzuzwingen, indem er Keto, eine "monströse Meereskreatur", schickte, um die Stadt der Menschen zu zerstören. Als Wiedergutmachung bot er den Menschen an, Andromeda zu opfern, welche die einzige Person war, die den Blutdurst dieses Monsters zu stillen vermochte. Dafür musste sie aber ihr Leben lassen.

Das Volk Äthiopiens ließ sich schnell von dieser Drohung beeinflussen, und entschied genau das, was die Götter vorhersagten. Kein Bürger der Stadt wollte also seine Existenz für eine vorlaute Königin verlieren. Dadurch hatten die Götter den Zusammenhalt der Menschen durchbrochen und sie gegen sich selbst ausgespielt.

Kassiopeia wurde von den Bewohnern an eine Klippe vor der Stadt gehängt, wo sie das Monster finden sollte bevor es die Stadt zerstörte. Dort hängend fand sie recht spät Perseus, der sich sofort unsterblich in sie verliebte. Er kam gerade von einer Reise, welche das Ziel hatte Medusa, eine Gorgonin und Tochter des Monsters Keto, zu töten.

Als Beweis enthauptete er, wie damals üblicher Brauch war, seinen Gegner. Der Medusakopf gilt als ein Kernstück der griechischen Mythologie, da dessen Augen die Eigenschaft besitzen jedes männliche Geschöpf zu versteinern, das sie ansehen. So beschloss Perseus dem Monster den toten Kopf vorzuzeigen um es zu versteinern. Er rettete Andromedas Leben und eroberte ihr Herz. Somit gelang es ihm die Stadt und das Land zu retten.

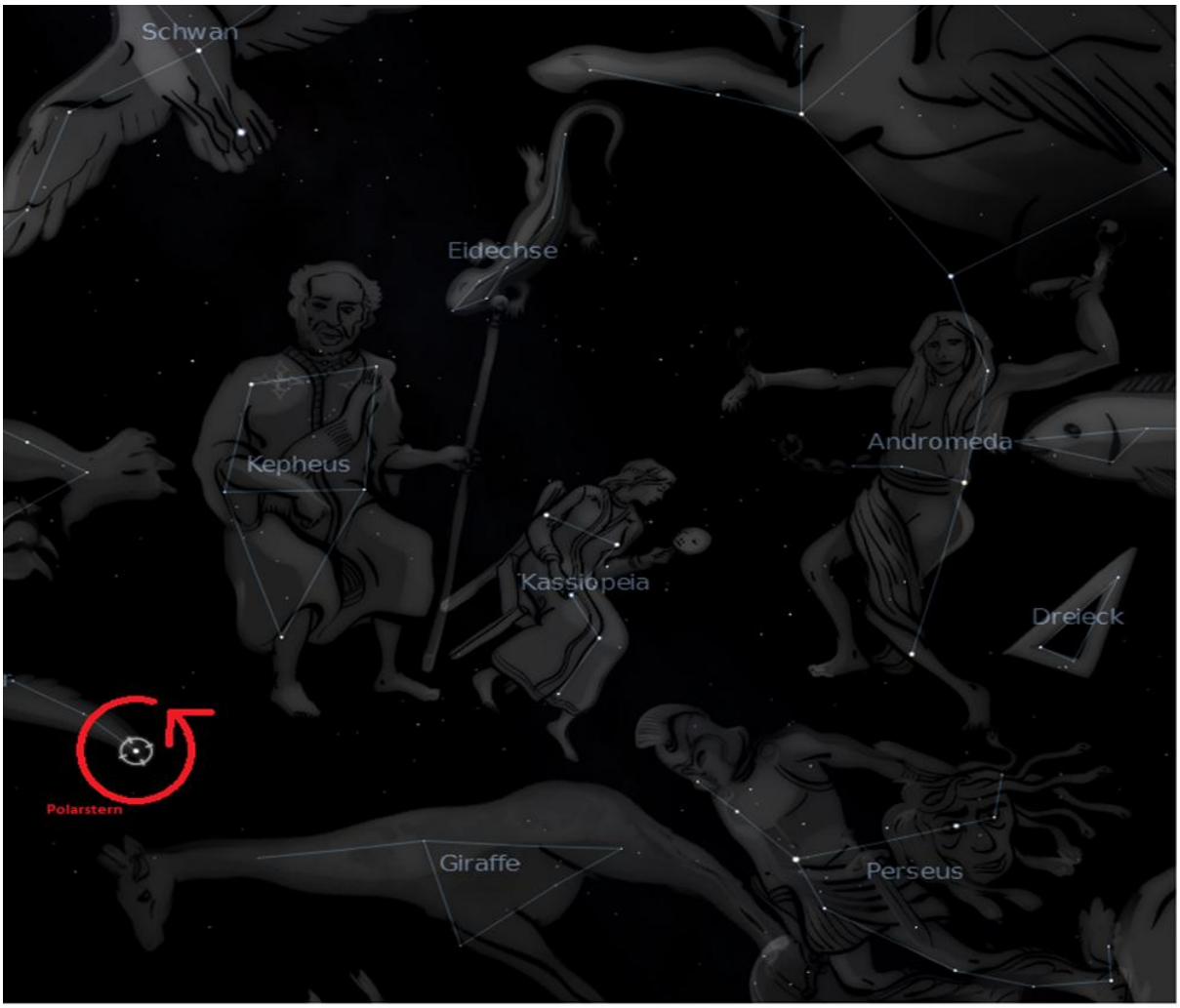


Abbildung 33: Sternbilder um Kassiopeia mit Stellarium dargestellt und nachbearbeitet[29]

6. Aufnahmetechnik

Unsere Facharbeit wurde durch unsere Ausrüstung erst möglich gemacht. Diese ist für eine Schule einzigartig. Trotzdem besaßen wir die Möglichkeit aus einer Reihe von technischen Gerätschaften zu wählen, um optimale Ergebnisse möglich zu machen. Deshalb führen wir hier unsere verwendeten Geräte auf und erklären deren Funktion, sowie deren besonderen Nutzen für unsere Ziele.

[29] Stellarium

6.1 Celestron 11 EdgeHD

[30] Abbildung 34: Celestron 11

Typbezeichnung:	Celestron 11 Edge HD
Optischer Aufbau:	Aplanatisches Schmidt-Cassegrain Teleskop
Freie Öffnung:	280 mm
Brennweite:	2800 mm
Öffnungsverhältnis:	10
Auflösungsvermögen:	0,5 ‘‘
Lichtsammelvermögen:	1600 x
Tubuslänge:	610 mm

[30] http://www.celestron-nexstar.de/edgehd/default.htm

Gewicht:	12,7 kg

Abbildung 35: Tabelle mit den technischen Daten des C11[31]

Das Celestron 11 Edge HD wird aus dem englischen abgeleitet (high Definition). Die Übersetzung verweist auf die hohe Auflösung des Teleskops. Es ist ein professioneller Astrograph, mit dem auch größere Himmelsobjekte sehr scharf dargestellt werden können (Abb. 34). Die 11 im Namen des Produkts steht für die Teleskopöffnung, die 11 Zoll = 280 mm beträgt (Abb. 35).

Die Besonderheit dieses Teleskops ist die Schärfeverteilung des Bildes, so sind selbst Objekte am Rand des Sichtfeldes klar und deutlich zu erkennen. [32] Das Teleskop unterscheidet sich von vielen anderen Teleskopen durch die nicht vorhandene Bildkrümmung. Die Aufnahmen durch Kameras gewinnen damit an Qualität.

[31] Orionnebel Mohr und Ziegler (Facharbeit)
[32] http://www.celestron-nexstar.de/edgehd/default.htm

6.2 DADOS Spektrograph

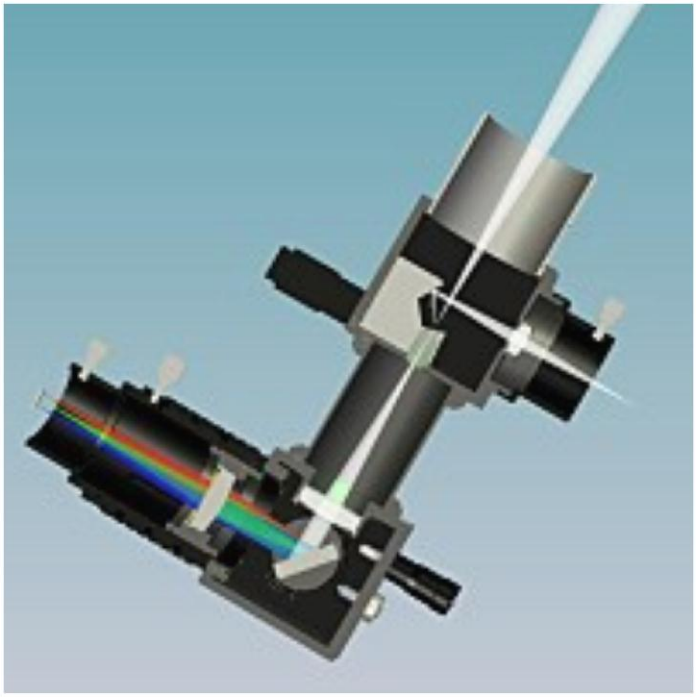


Abbildung 36: Der DADOS Spektrograph[34]

Das Licht gelangt durch die oben liegende Öffnung in den Spektrographen. Es gelangt weiter nach unten zum Spalt und wird zudem zweifach gespiegelt. Nachdem es den Kollimator passiert hat, strahlt das Licht auf das Gitter, welches so angebracht wird, dass das Licht weiter zum Objektiv geleitet wird (Abb. 34).[33] Dabei wird das Licht bereits zu einem Spektrum weiterverarbeitet, sodass, nachdem der Betrachter das Objekt scharf gestellt hat, ein Spektrum gesehen werden kann (Abb. 34).

Je mehr Linien pro Millimeter vorhanden sind, umso schärfer ist das Spektrum, allerdings lassen sich mit mehr Linien pro Millimeter ein immer kleineres Gesichtsfeld beobachten/fotografieren. Zudem kann man das Spektrum verschieben indem man mit der Mikrometerschraube, welche nahe dem Gitter ist (rechts davon), das Spektrum in die gewünschte Position bringt.

Abbildung 37: Spektrograph mit Giotto und Paint bearbeitet

[33] Spektralklassifikation Schneider (Facharbeit)
[34] http://www.baader-planetarium.de/dados/dados.htm

Außerdem kann eine verbaute LED zum Scharfstellen des sichtbaren Spektrums genutzt werden. Diese sollte bei der Beobachtung beziehungsweise Fotografie aber ausgeschaltet sein, da sich sonst das Lichtspektrum der LED mit dem Spektrum des Gesichtsfeldes überschneidet. Die Gitter sind in drei verschiedenen Liniendichten vorhanden. Sie sind in 200L/mm, 900L/mm und 1800L/mm unterteilt.

6.3 Canon EOS 450D

Diese Kamera wird dazu verwendet, um die Aufnahmen des Nachthimmels mit Hilfe des Teleskops und des DADOS Spektrographen aufzunehmen.

Technische Daten: Bei dieser Kamera handelt es sich um eine Spiegelreflexkamera mit 12,2 Megapixel CMOS Sensor. Besonderes Augenmerk wurde hier auf die Bildschärfe, sowie das geringe Bildrauschen gelegt. Dies ist für die Astronomie besonders wichtig. Zudem sind Aufnahmen im gesamten ISO Bereich möglich. Wichtig ist die Live View-Funktion (Abb. 40), mit deren Hilfe man die Kamera direkt über einen Computer steuern kann.

6.3.1 Modifizierung der Canon EOS 450 D

Die benutzte Canon EOS 450 D besitzt einen abgeänderten Chip,welcher für astoronomische Zwecke optimiert wurde. Der eigentliche Sensor in dieser Kamera

Abbildung 39: Menü der EOS 450 D[35]

[35] http://www.amazon.de/Canon-SLR-Digitalkamera-Megapixel-LiveView-bildstabilisiert/dp/B00131W8IW/ref=cm_lmf_tit_

ist vom Typ CMOS. Die Funktion ist ähnlich, aufgrund von vielen Lichtdioden wird die Lichtenergie der Photonen in elektrische Ladungen umgewandelt[36]. Beim Sensor kann jeder einzelne Pixel angesteuert werden, dadurch entsteht ein besseres Bild. Außerdem besitzt diese Kamera keinen Filter, wie herkömmliche Modelle. Diese Filter dienen dazu nur die für das menschliche Auge sichtbaren Wellenlängenbereiche aufzuzeigen. Durch das Weglassen des Filters kann Licht aus mehreren Wellenlängenbereichen, zum Sensor gelangen. Dies führt in Kombination mit dem modifizierten Sensor für ein farbenreicheres Bild und somit zu einem besser auswertbarem Bild in der Astronomie (Spektrum).

6.3.2 Die Aufnahmesoftware EOS Ultility

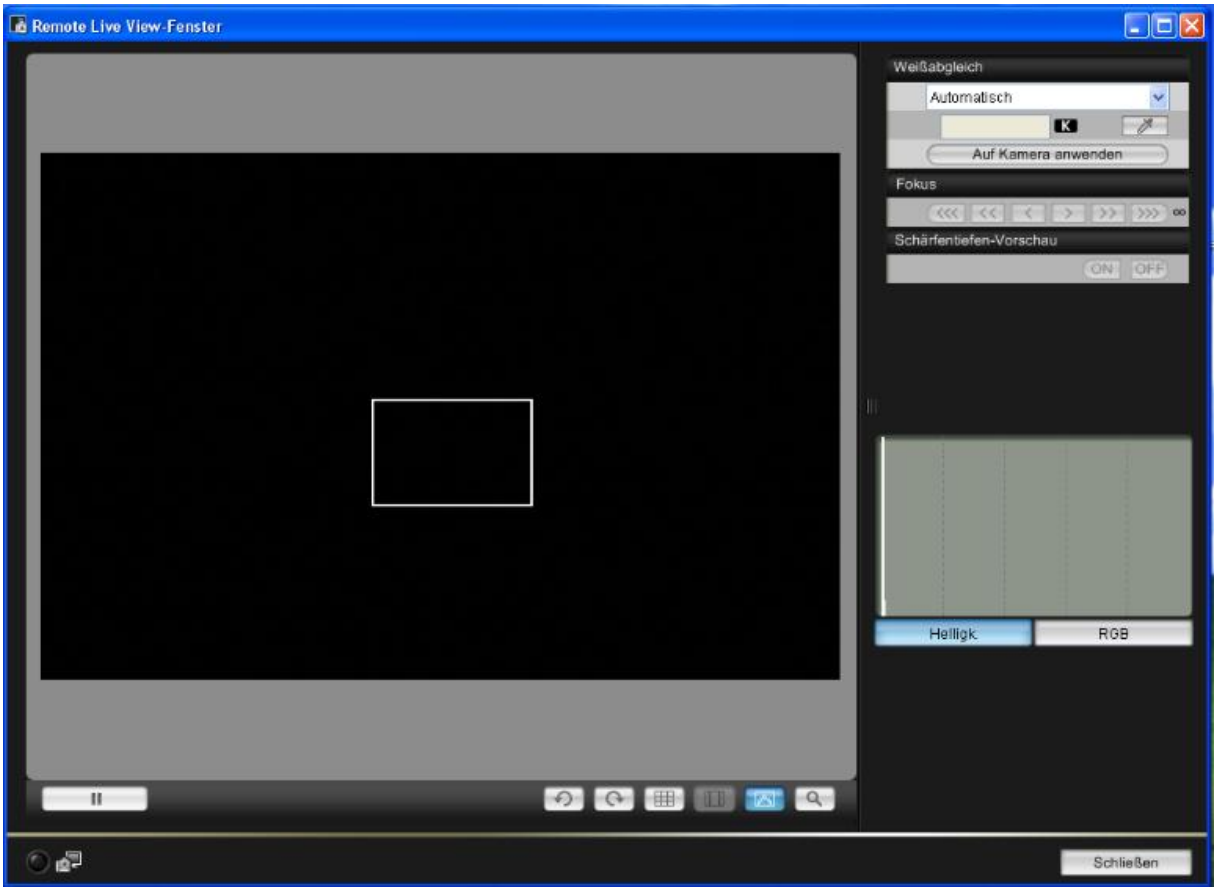


Abbildung 40: Live View mit EOS Utility[37]

[36] Facharbeit Orion Nebel/ Martin, Bernd Koch, Digitale Astrofotografie, Oculum Verlag, S. 24
[37] EOS Utility

Abbildung 41: Menü von EOS Utility[38]

Abbildung 42: Kamera Menü von EOS Utility[39]

Die mitgelieferte Aufnahmesoftware von Canon namens EOS Utility erlaubt einem per Live View (Abb. 40) ein Himmelsobjekt dauerhaft über den Computer anzusehen.[40] Damit können Fotos aufgenommen werden. Zur Optimierung der Aufnahmen steht eine Vielzahl von Einstellungen im Optionsfenster bereit (Abb. 42). Während der Aufnahmen wird diese Software dauerhaft genutzt, um die gewünschten Fotos zu optimieren. Denn mit dieser Software lassen sich ISO-Werte und Belichtungszeiten beliebig verstellen. So ist es möglich drei Aufnahmereihen mit verschiedenen Belichtungszeiten anzufertigen (Abb. 42).

[38] EOS Utility
[39] EOS Utility
[40] Facharbeit über den Orionnebel von Mohr und Ziegler

6.4 Teleskopmontierung AP 900

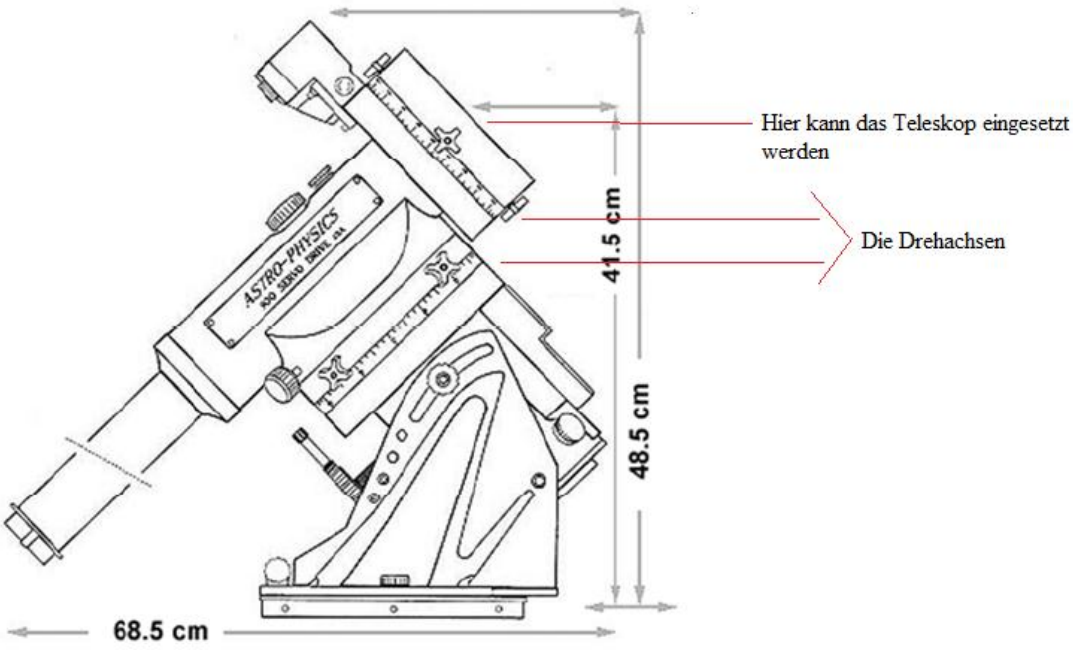


Abbildung 43: Bild vom AP 900[41]

Diese Abbildung (Abb. 43) zeigt eine AP 900, entwickelt von der Firma Astro-Physics. Diese Montierung ist für die Nutzung von Teleskopen konstruiert worden. [42] Auf der oben zu sehenden Schiene ist das Teleskop anzubringen (Abb. 43). Die beiden Drehachsen sorgen dafür, dass die Montierung mit Hilfe einer Handsteuerung in die Richtung des Ziels bewegt und auf dieses zentriert werden kann. Diese Montierung arbeitet mit einem parallaktischen Prinzip. Das bedeutet, dass Stundenachse und Erdachse parallel zueinander ausgerichtet werden. An einem Punkt, an dem sich das Ende der Erdachse befindet (z.B. Nordpol) wird die Montierung senkrecht zur Erdoberfläche angebracht. Die Drehachsen stehen jedoch nicht senkrecht zur Erde (nur senkrecht zueinander), sondern schräg dazu, was bedeutet, dass sich das Gesichtsfeld nicht mitdrehen muss sobald die Montierung gedreht wird. Die Steuerung

[41] Abbildung von der Facharbeit über den Orionnebel von Mohr und Ziegler übernommen und mit Paint überarbeitet
[42] Facharbeit über den Orionnebel von Mohr und Ziegler

erfolgt mit einem Handsteuergerät (Abb. 44).

Abbildung 44: Handsteuergerät der AP 900

Die Handsteuerung besitzt mehrere Funktionen. Die wichtigste Funktion ist das automatische Anvisieren von Himmelsobjekten. Die Montierung richtet sich nach der Eingabe auf dem Handsteuergerät auf das gewünschte Objekt, dies erfolgt nicht durch Autoguiding, sondern durch die Programmierung der Montierung. Diese orientiert sich unter anderem an dem „Messier Katalog“ und dem „New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars“(NGC). Das Problem ist, dass die Montierung aufgrund ihrer Drehachsen nicht exakt jede einzelne Verschiebung der Himmelsobjekte nachkorrigieren kann. Dies liegt daran, dass die Verschiebung der Drehachsen nicht stufenlos ist, sondern durch Zahnräder erfolgt.

7. Auswertung der bisherigen Ergebnisse: Spektrum

Das Ziel der Auswertung ist, die aufgenommenen Spektren größtmöglich zu verbessern! Dabei wird versucht, Einflüsse wie thermisches Rauschen und Licht vom Himmel zu eliminieren. Da dieser Vorgang sehr kompliziert ist, aber genau durchgeführt werden muss, werden alle Auswertungen mit dem Computer gemacht. Man kombiniert die besten Bilder aus einer Bildreihe und fügt sie zu einem zusammen. Diesen Vorgang möchten wir hier beschreiben:

Auf vielen Aufnahmen sind die Spektren nicht horizontal ausgerichtet oder gar nicht vorhanden. Durch Messungenauigkeiten oder Störungen, die das Spektrum beeinträchtigen, geschehen viele Fehler. Deshalb werden alle Spektren erst einmal auf Ungenauigkeiten untersucht. Aufnahmen, die überbelichtet sind oder diejenigen, auf denen man gar nichts erkennt, werden sofort gelöscht. Andere, die zum Beispiel nicht ausgerichtet sind, werden via Photoshop (Abb. 45) in Fotogruppen gedreht und verändert. Da eine ungenaue Einstellung an einer Aufnahme für alle gelten muss, werden diese gleich in ganzen Gruppen behandelt. Ausnahmen auf einzelnen Spektren müssen mit dem Protokoll verglichen werden, das am Beobachtungsabend geführt worden ist. Einbußen in der Lichtstärke eines Spektrums sind meist auf einen bewölkten Himmel zurückzuführen, helle Hintergründe meist auf Lichteinflüsse in der Nähe des Beobachters wie z.B. Stadtlicht. Alle Aufnahmen werden außerdem in Graustufen konvertiert, weil die verwendeten Farben damit genauer berechnet werden können.

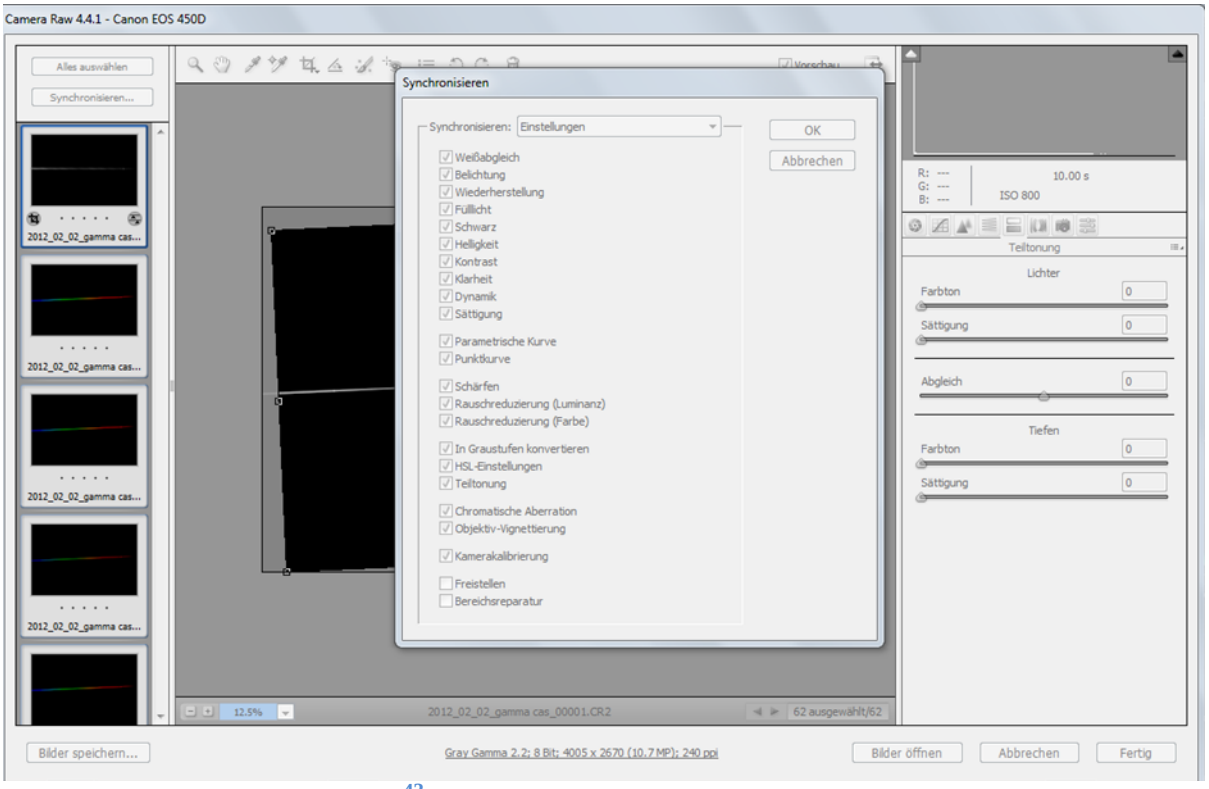


Abbildung 45: Bearbeitung mit Photoshop[43]

7.1 Stacken der Spektren

Um das schärfste Ergebnis zu erzielen, ist es notwendig, die ausgelesen Aufnahmen so zusammenzusetzen, dass gute Bildbereiche aufeinandergelegt und herausgeschnitten werden. Hierbei handelt es sich um das „Stacken“ (engl. für Aufstapeln), welches mit dem Programm ‚Fitswork‘ erfolgt (Abb. 46). Das Programm registriert markante Stellen der Aufnahme und legt diese übereinander, wodurch dann alle Bilder exakt aufeinander liegen. Das daraus entstandene Spektrum wird auch Summenspektrum genannt und gilt als Ausgangspunkt für weitere Bearbeitungen.

[43] Photoshop

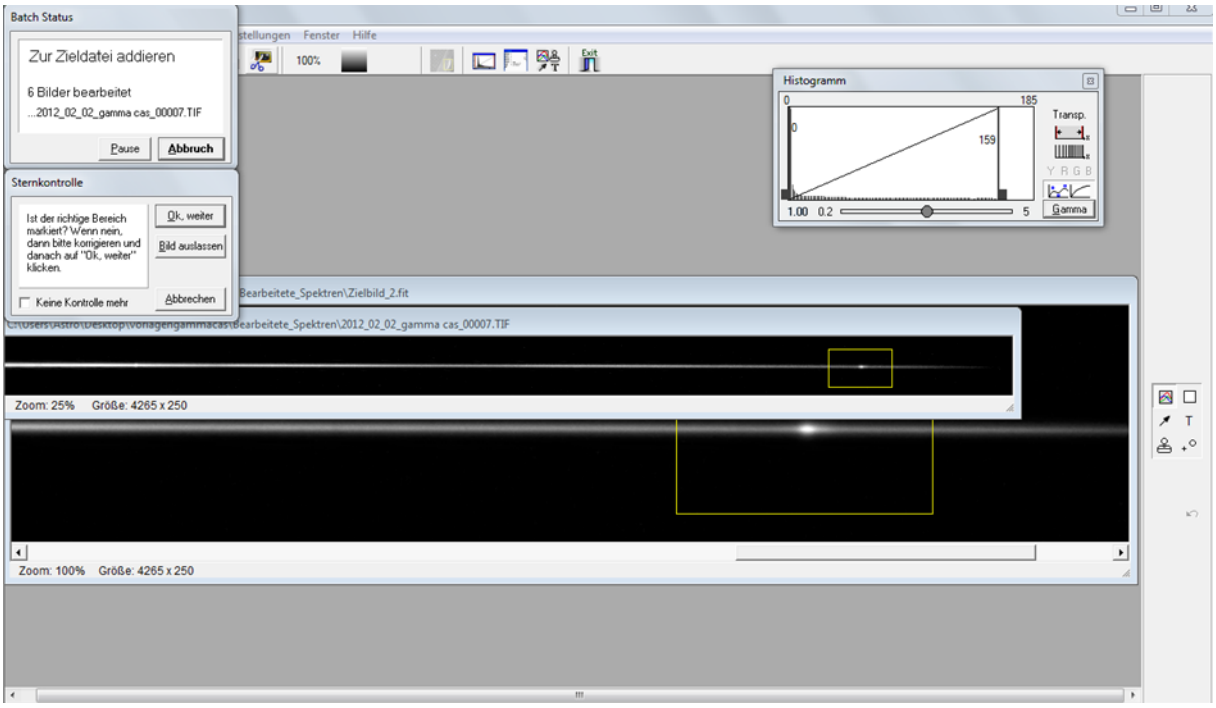


Abbildung 46: Eingabe der markanten Merkmale der Spektren mit dem Programm Fitswork[44]

Das Spektrum aber nur als Bild vorliegen zu haben, ist jedoch nicht genau, deshalb wird die Aufnahme gescannt und in Form einer Grafik dargestellt (Abb. 47). Die X-Achse stellt die Breite des Bildes dar, die Y-Achse die Intensität. Es ist möglich, die Farben in einem späteren Vorgang einzufügen, da die Wellenlängen der Absorptions- und Emissionslinien bekannt sind. Das ist mit dem Programm ‘Visual Spec‘ möglich.

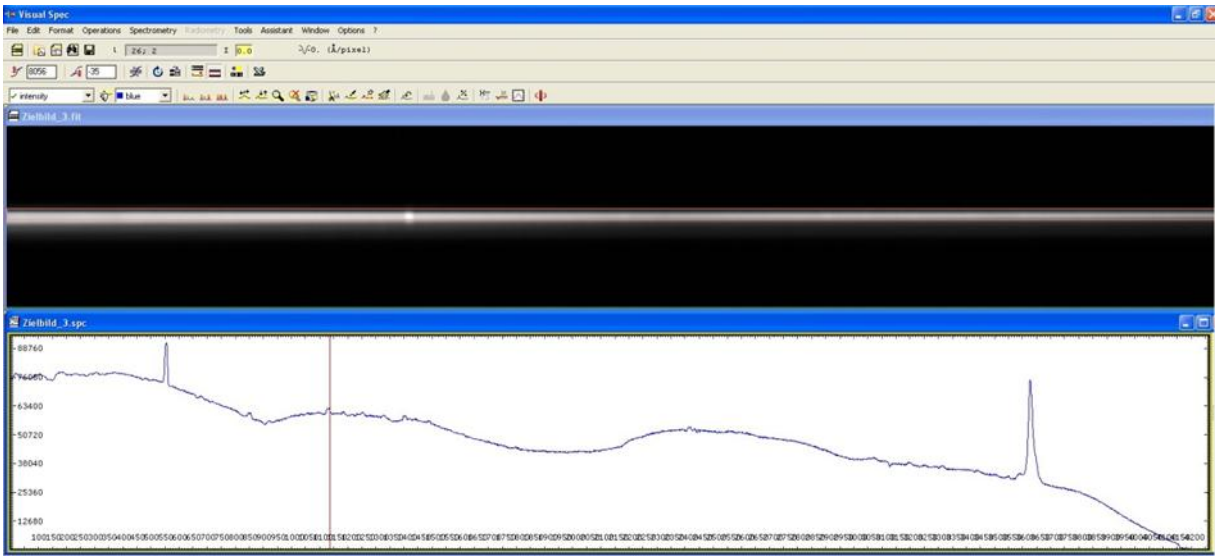


Abbildung 47: Summenspektrum und Intensitätsscan mit „Visual Spec“ [45]

[44] Fitswork

7.2 Wellenlängenkalibration der Spektren

Um einzelne Emission- und Absorptionslinien genauer zu untersuchen, ist es notwendig diese ihren Wellenlängen zuzuordnen (Abb. 47). Für die deutlich erkennbaren ist das nicht schwierig, da sie markant und bekannt sind. Man kann sie mit den Werten im ‘Walker-Spektralatlas‘ vergleichen und die Wellenlängen übernehmen. Diese Wellenlängenkalibration ist jedoch wichtig, wenn unbekannte Spektrallinien untersucht werden müssen. Wir möchten uns nun mit dem Vorgang der Wellenlängenkalibration genauer befassen. Das Ziel ist es zu jedem Wert auf der X-Achse eine zugehörige Wellenlänge zu definieren. Das Spektrum ist aber noch nicht genau definiert, da es mit dem Spektrograph nur aufgenommen und noch nicht eingeteilt ist. Zur Hilfe nimmt man sich deshalb bekannte Spektrallinien, wie in diesem Fall Hα und Hβ. Hα liegt bei einer Wellenlänge von 6562.82 A, Hβ bei 4861.33 A. Anhand dieser Werte sind alle anderen definierbar, da sie relativ zu den beiden markanten Punkten sind. Wenn das Spektrum nicht verzerrt ist, reichen zwei Punkte, um das Spektrum an der Wellenlänge zu definieren. Es ist jedoch sinnvoll, einen dritten Punkt zu nehmen, der die Ausrichtung noch genauer macht. Hierbei verwenden wir den Punkt He I bei einer Wellenlänge von 4922 A. Das Programm Visual Spec richtet den Graphen anhand der gegebenen Punkte aus und zerrt oder streckt das Spektrum je nach Notwendigkeit. Nach der Wellenlängenkalibration ist es möglich, jede Spektrallinie im Spektrum zu definieren, und das Objekt auf mögliche Elementvorkommen zu untersuchen (Abb. 48).

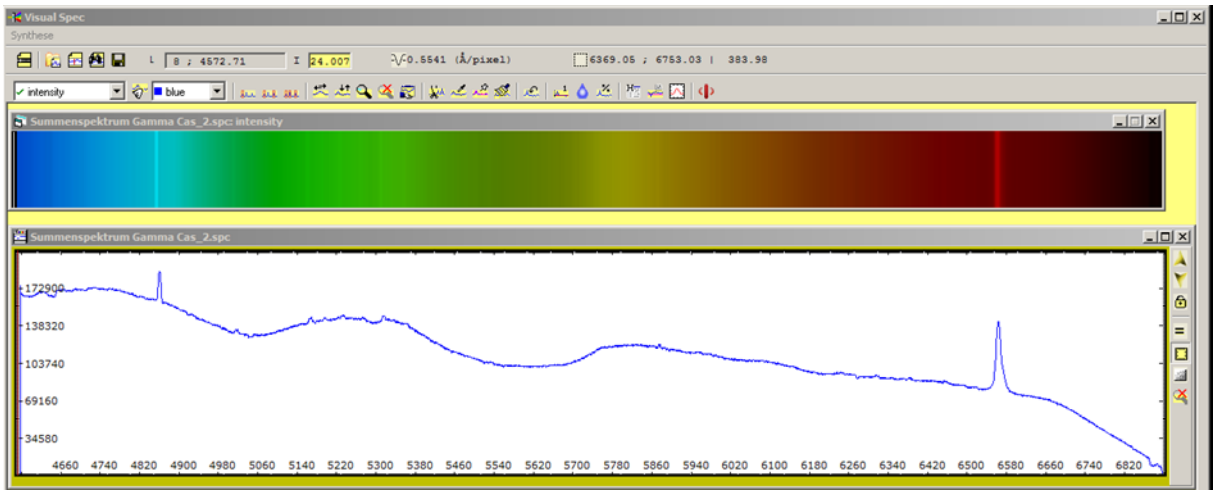


Abbildung 48: Wellenlängenkalibriertes Spektrum und dazugehöriges Farbspektrum in Visual Spec[46]

[45] Visual Spec
[46] Visual Spec

7.3 Normierung der Spektren

In der Normierung soll der Graph besser veranschaulicht werden. Dazu ermittelt man den Kontinuumsverlauf und dividiert das Spektrum durch diesen (Abb. 49, 50).

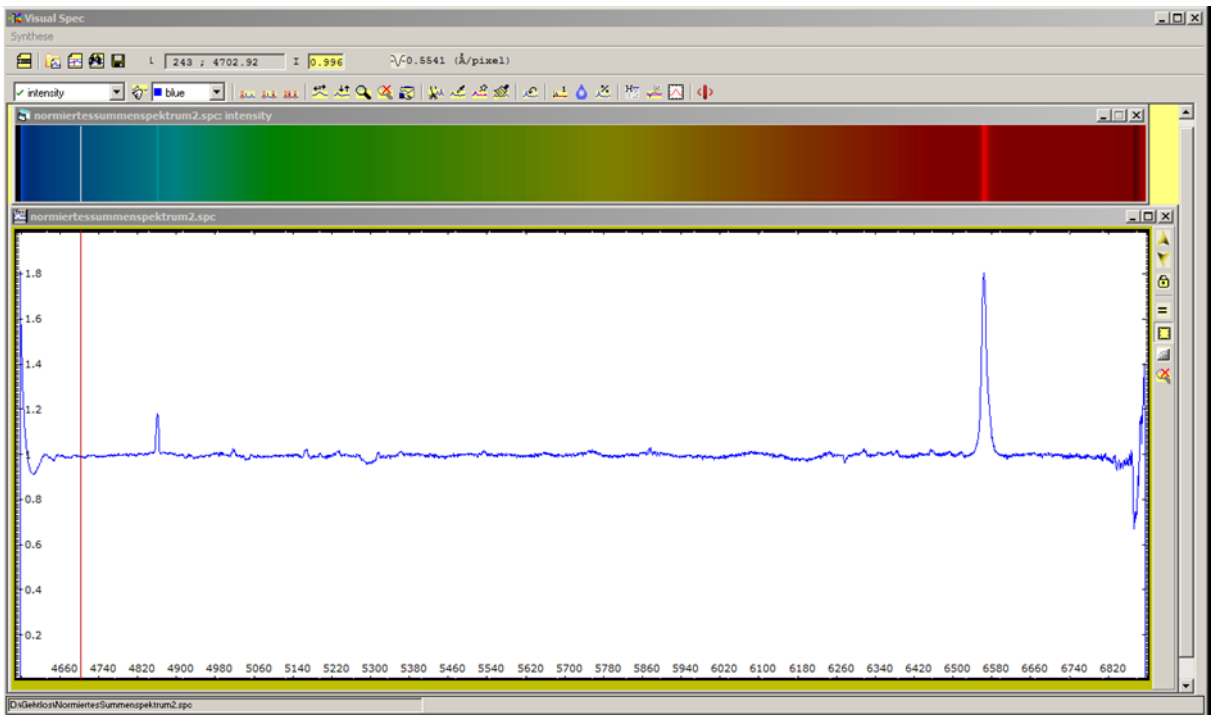


Abbildung 49: Normiertes Spektrum in Visual Spec[47]

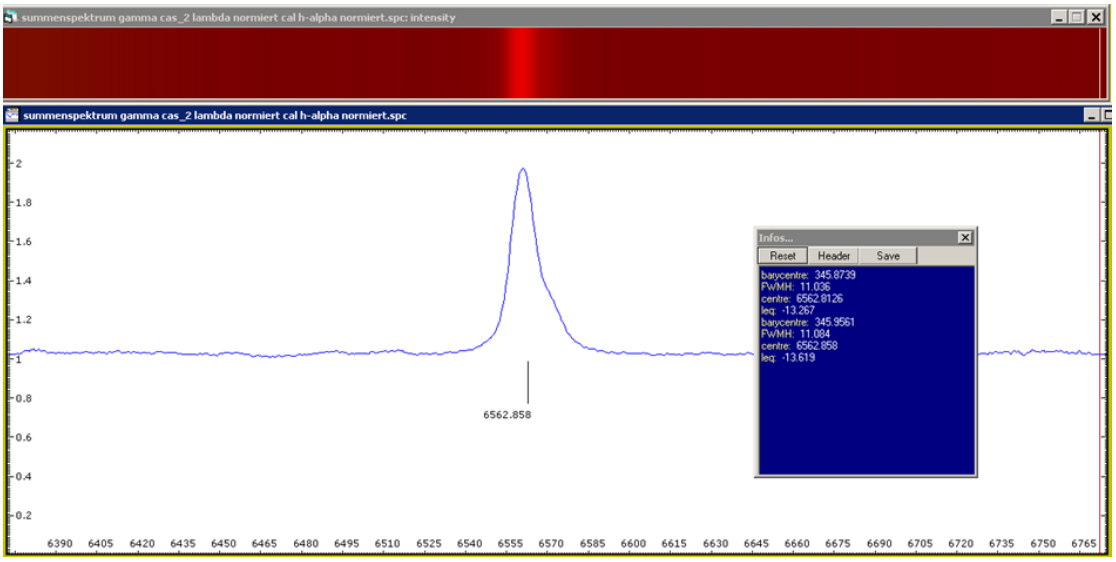


Abbildung 50: Hα Linie und entsprechende Werte mit Visual Spec[48]

[47] Visual Spec
[48] Visual Spec

7.4 Messung der Äquivalentbreite

Die Äquivalentbreite gibt weitere Informationen über bestimmte Spektrallinien. Die wichtigste ist die Breite sowie Intensität einer Linie. Außerdem kann man die Häufigkeit eines im Objekt vorhandenen Elements abschätzen, sowie dessen Temperatur beim Erzeugen des Lichts. Zum Errechnen einer Äquivalentbreite muss das Spektrum bereits normiert sein. Danach beschäftigt man sich mit dem Bereich zwischen der Normlinie und der Spitze der graphisch dargestellten Spektrallinie. Als Gesamtbreite dieser betrachtet man die Breite, die man in der Mitte misst (Abb. 51).

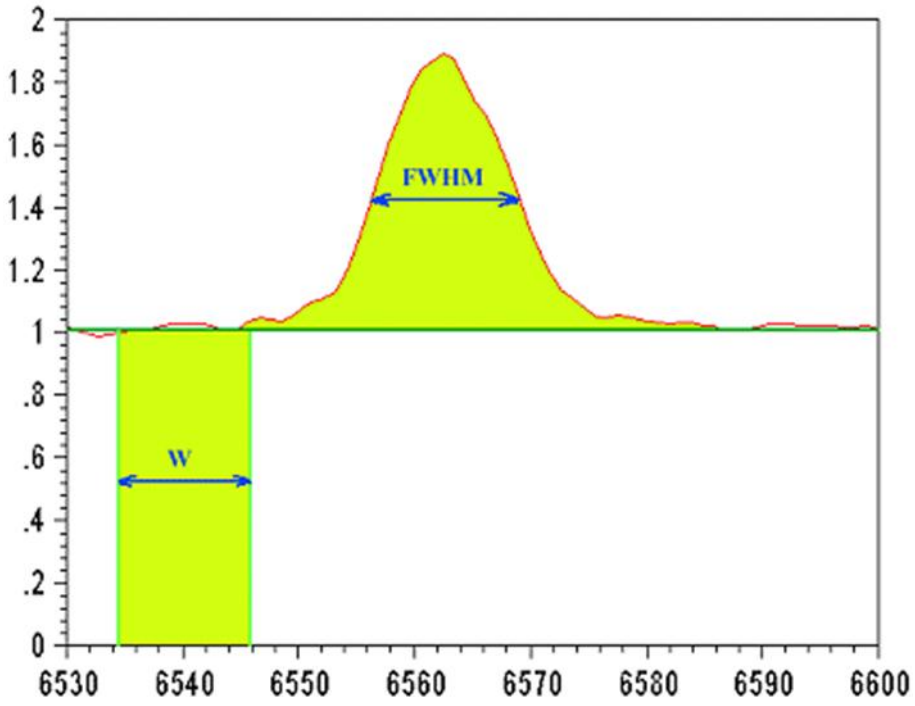


Abbildung 51: Emissionslinie und die Fläche aus dem resultierenden Rechteck[49]

‘Visual Spec‘ legt über das Spektrum bei Hα einen Gaußfit. Dieser Gaußfit ist der Graph einer berechneten Funktion, die dem bei Hα stark annähert. Es ist ein Polynom hohen Grades. Anhand dieses Graphen misst ‘Visual Spec‘ die Fläche unter diesem bis zum normierten Wert eins. Mit der gleichen Fläche wird ein Rechteck erstellt, das zwischen null und eins auf der Y-Achse begrenzt ist. Die Fläche des Rechtecks ist also ein Produkt aus dem Faktor eins und der Äquivalentbreite.

[49] Vortrag von Ernst Pollmann (S. 29)

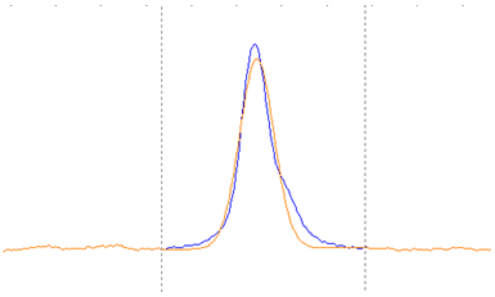


Abbildung 52: Hα mit dem angelegten Gaußfit[50]

Aufgrund der zuvor durchgeführten Normierung ist es möglich den Faktor herauszukürzen. Die Breite des Rechtecks ist daraufhin die Äquivalentbreite in Angström (Abb. 51).

7.5 Ergebnis und Vergleich mit Referenzmaterial

Diese Äquivalentbreite gibt Auskunft über den Strahlungsfluss, den γ Cas im Bereich von Hα hat.

Der Wert beträgt:

EW=-13.267 (Abb. 53)

Dieser Wert ist negativ, weil es sich bei Hα um eine Emissionslinie handelt.

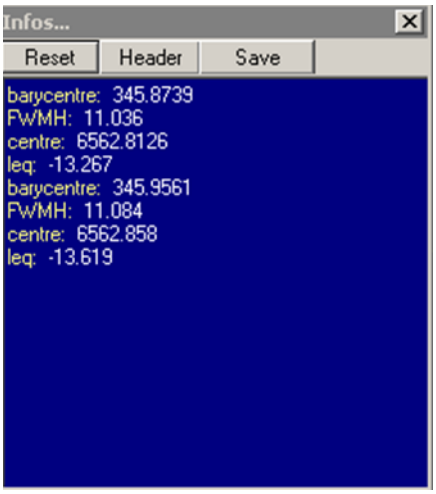


Abbildung 53: Messergebnisse aus Visual Spec durch Äquivalentenberechnung[51]

[50] Visual Spec
[51] Visual Spec

Vergleicht man diesen jedoch mit anderen Werten aus der Literatur, erkennt man eine starke Abweichung. Eine Begründung für diese Abweichung liefert die Kamera, die nicht kalibriert wurde. Ein Durchschnittswert liegt bei einer Äquivalentbreite bei circa 30 A. Die folgende Grafik zeigt in Hα gemessene Äquivalentbreiten über einen längeren Zeitraum. Die Werte schwanken zwischen 25 und 40 A (Abb. 50).

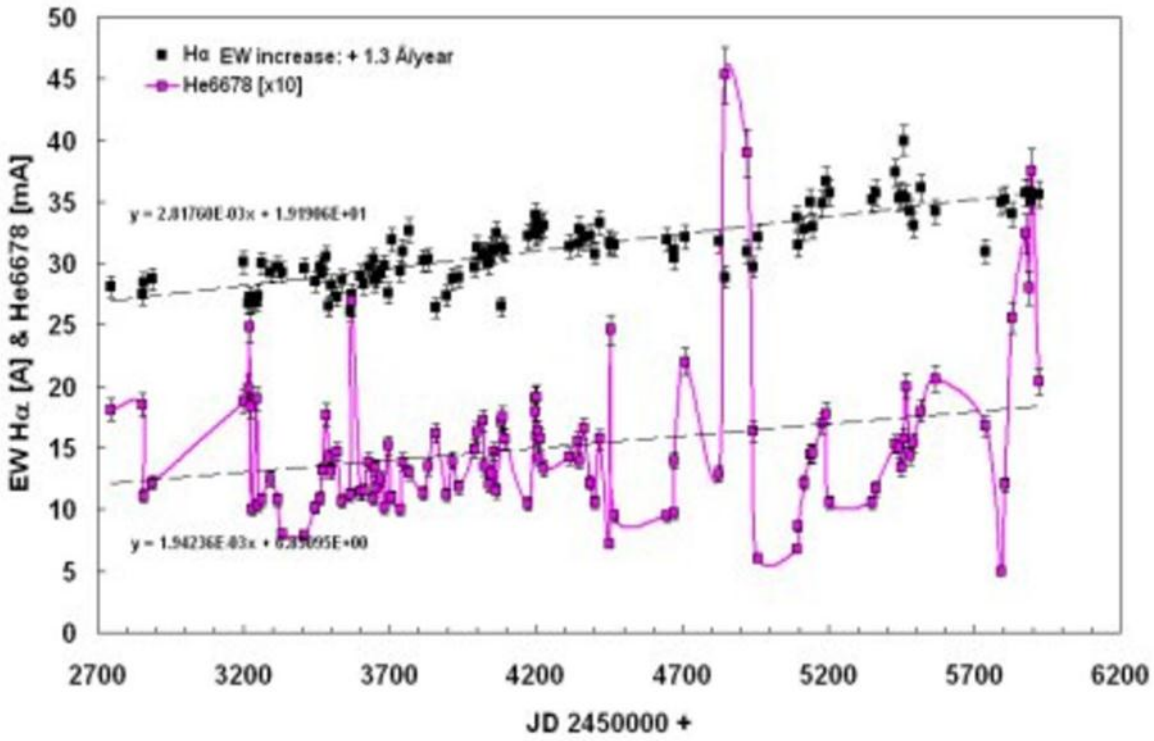


Abbildung 54: Unterschiedle Äquivalentbreiten aus verschiedenen Versuchsreihen[52]

8. Modell von Gamma Cassiopeiae

Wir haben ein Modell von Gamma Cassiopeiae erstellt, um den Dopplereffekt und den Stern in einem Objekt zusammenfassen zu können. Die Eigenschaften des Sterns sollten bei dieser Arbeit visualisiert werden. Außerdem sollte das Modell auch für jemanden, der keine Kenntnisse in der Elektrotechnik besitzt, nachbaubar sein. Deswegen wurden Widerstände aus dem Konzept gestrichen und stattdessen eine Stromquelle genutzt, welche eine Spannung besitzt, die identisch mit der, der Leuchtdioden ist.

[52] http://www.astronomie.de/typo3temp/pics/461eeca236.jpg

8.1 Materialien für das Modell

Das Material für das Modell besteht aus mehreren Dingen, welche weiter verarbeitet werden mussten, damit sie ihren Zweck erfüllen konnten.

Die Materialien waren (Abb. 67): Ein Tischtennisball, zwei folienartige Papiere, zwei Doppeldrähte, eine CD, eine Korkplatte, sechs Leuchtdioden (vier rote und eine blaue für die Blauverschiebung), Papier, Zeitungspapier, eine an- und abschaltbare Batterie, einer Knopfbatterie (zum Testen der Leuchtdioden), Farben und Deckweiß.

Abbildung 55: Zweiteiliger Draht

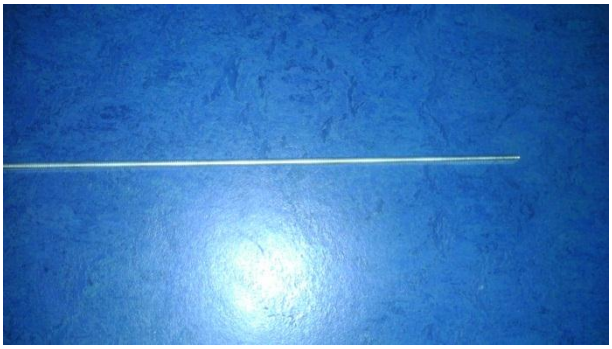


Abbildung 56: Schraube

Abbildung 57: Tischtennisball

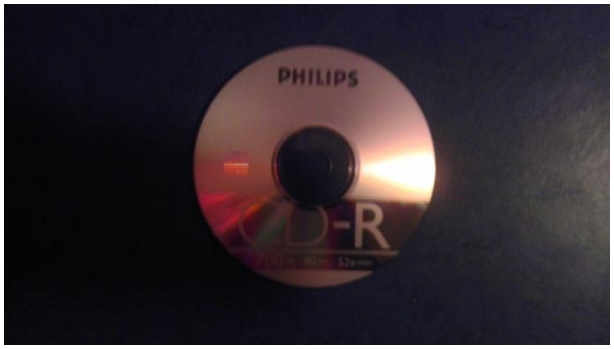


Abbildung 58: CD

Abbildung 59: Knopfbatterie mit 3Volt

Abbildung 60: Sechs Leuchtdioden

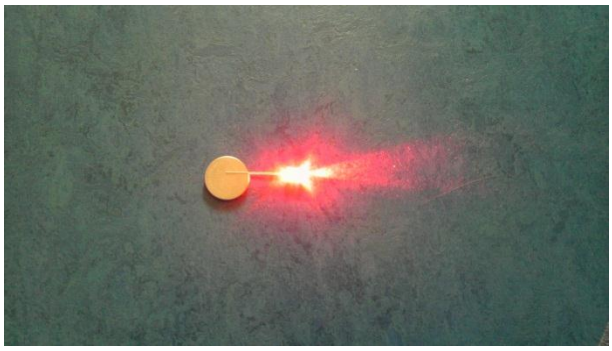


Abbildung 61: eine rote Leuchtdiode

Abbildung 62: Eine weiße Leuchtdiode

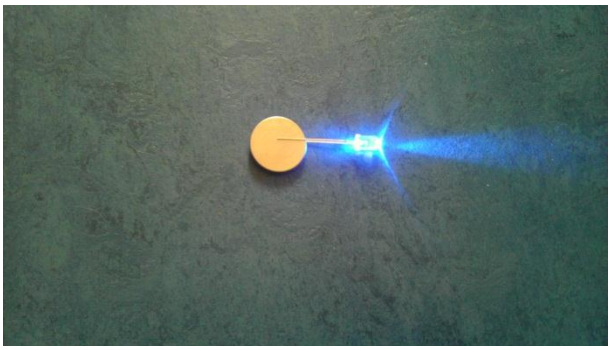


Abbildung 63: Eine blaue Leuchtdiode

Abbildung 64: Doppeldraht

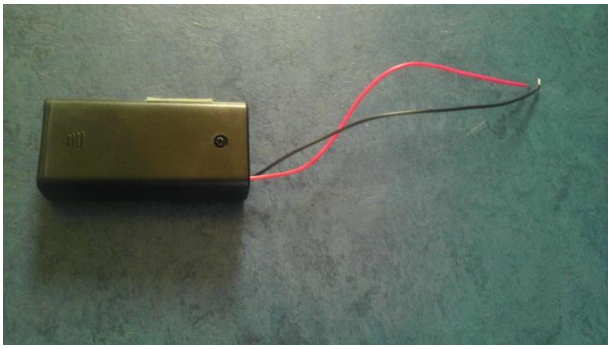


Abbildung 65: Batterie

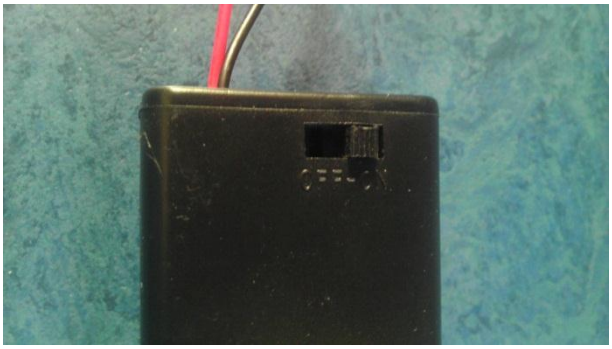


Abbildung 66: Nahaufnahme der Batterie mit Schalter

Abbildung 67: alle Materialen

8.2 Planung des Modells

Unsere Idee war, eine Korkplatte als Basis zu nehmen, in diese sollte eine große Schraube reingedreht werden. Nach der Befestigung der Schraube sollte eine Batterie zu der Korkplatte gelegt und wenn möglich dort befestigt werden. Diese sollte später für die Stromversorgung der Leuchtdioden im Standfuß integriert sein. Der Standfuß sollte dann so „verkleidet“ werden, dass weder die Korkplatte noch die Batterie zu sehen sein würden. Am oberen Ende der Schraube, in horizontaler Richtung vom Standfuß aus, sollte der Tischtennisball auf die Schraube aufgesteckt werden. Denn dieser sollte nicht drehbar sein, da im unteren Teil des Tischtennisballs die Kabel für die Leuchtdioden hindurchgeführt werden sollten. Die CD sollte in einem geneigten Winkel an einem Ring unterhalb des Tischtennisballs befestigt sein. Dieser Ring sollte frei beweglich sein, sodass die CD ebenfalls gedreht werden kann. Außerdem sollte die CD mit einer Folie beklebt werden, damit Makel, welche durch das Zuschneiden der CD entstehen könnten, unkenntlich gemacht werden würden. Danach sollte die CD inklusive Folie mit Papier ummantelt und gegebenenfalls angemalt werden. Zum Schluss sollten einige Leuchtdioden links und rechts unterhalb der CD angebracht werden. Da die Wasserstoffscheibe rötliches Licht ausstrahlt, sollten rote Leuchtdioden auf beiden Seiten unter der CD mit Draht befestigt werden. Dieser Draht sollte an der Schraube hochgeführt werden, mehrmals um diese gedreht werden und dann unter der CD mit den Leuchtioden enden. Dafür sollte ein sehr stabiler Draht genutzt werden, weil dieser nicht einknicken dürfte. Aufgrund der gegen den Uhrzeigersinn laufenden Drehung des Sterns sollte eine blaue Diode auf der linken Seite zusätzlich ergänzt werden, welche auf der rechten Seite durch eine rote Diode ersetzt werden sollte, damit der Dopplereffekt offensichtlich ist. Zudem sollte ein kleines Schild mit der Beschreibung für das Modell, entworfen und zugeschnitten werden, für allgemeine Informationen.

8.3 Bau des Modells

Der Bau des Modells begann mit dem Zurechtschneiden der CD (Abb. 68). Diese sollte einen inneren Kreis besitzen, dessen Radius einen Tischtennisball in der Mitte der Scheibe zuließ. Erst wurde mit einer Schere der innere Ring der CD markiert und überall angeschnitten. Die transparente Fläche wurde entfernt. Nach dem Anschneiden des Rings wurde mit einem Schraubenzieher der Ring Stück für Stück von der restlichen CD entfernt. Das Loch war jedoch zu eng für den Tischtennisball. Deswegen wurde der innere Kreis ausgeweitet (Abb.

69). Dies wurde mit der gleichen Technik nachkorrigiert. Dies gestaltete sich jedoch nicht sehr einfach, da der zweite Ring aufgrund des geringen Aktionsradius und der nötigen Arbeitsweise nur sehr schwierig zu entfernen war. Grund dafür war, dass genug Druck auf die CD ausgeübt werden musste, ohne sie zu zerbrechen, aber der Ring trotzdem restlos entfernt werden musste. Nach dem Entfernen des zweiten Rings, war ein Riss in der Scheibe zu sehen.

Abbildung 68: Bearbeitete CD, innerer Ring entfernt

Abbildung 69: Entfernung eines weiteren Rings

Zur Stabilisierung der CD, sowie zum Retuschieren, wurde eine Folie zurecht geschnitten. Das bisherige Ergebnis wurde als Schablone genutzt. Zur Prüfung wurde ein Tischtennisball probehalber in den inneren Kreis gehalten.

Abbildung 70: CD und Tischtennisball

Nach der Überprüfung des Ergebnisses wurde diese mit Hilfe der CD zurechtgeschnitten (Abb. 71). Die Folie ist sehr rötlich, da die Wasserstoffscheibe jedoch nur leicht rötlich sein sollte, musste ein Blatt mit einer Mischung aus rot und Deckweiß bemalt werden (Abb. 72).

Abbildung 71: Folie

Abbildung 72: CD, Papier und Folie

Abbildung 73: Rot bemaltes Papier

Abbildung 74: Alle drei Teile aufeinander geklebt

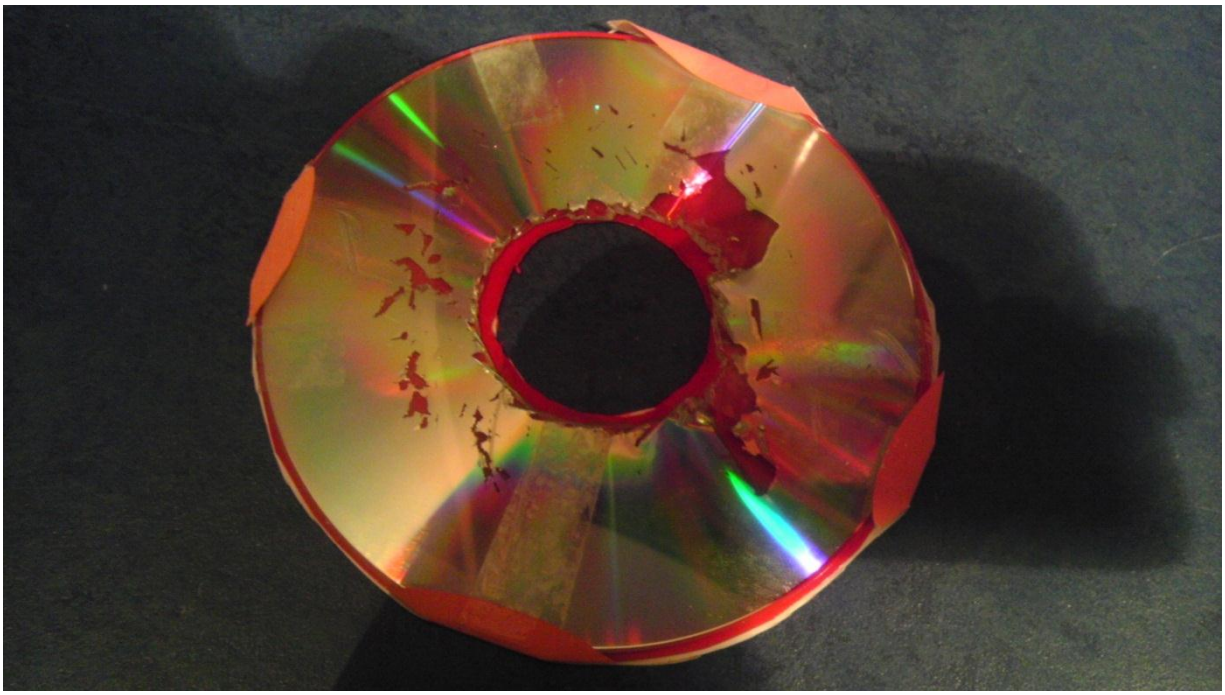


Abbildung 75: Alle drei Teile zusammengeklebt

Nachdem das Papier bemalt worden war, wurde dieses auf Folie und CD geklebt. Alle Teile sollten somit die Scheibe von Gamma Cassiopeiae symbolisieren (Abb. 74,75). Nach der Fertigstellung der Scheibe wurde der Tischtennisball bläulich bemalt.

Anschließend wurde in die Korkplatte die Schraube eingedreht (Abb.76-78). Dies gestaltete sich ebenfalls nicht einfach, da auf die exakte Justierung der Schraube geachtet werden musste. Zur besseren Befestigung der Schraube wurde die Korkplatte geteilt und die Schraube durch zwei Schichten gestoßen (Abb. 77). Korrekturen der senkrechten Position der Schraube wurden später durch Nägel, welche in die Korkplatten gestoßen wurden, erledigt (Abb. 78).

Abbildung 76: Schraube mit Korkplatte und Ring

Abbildung 77: Zwei Schichten

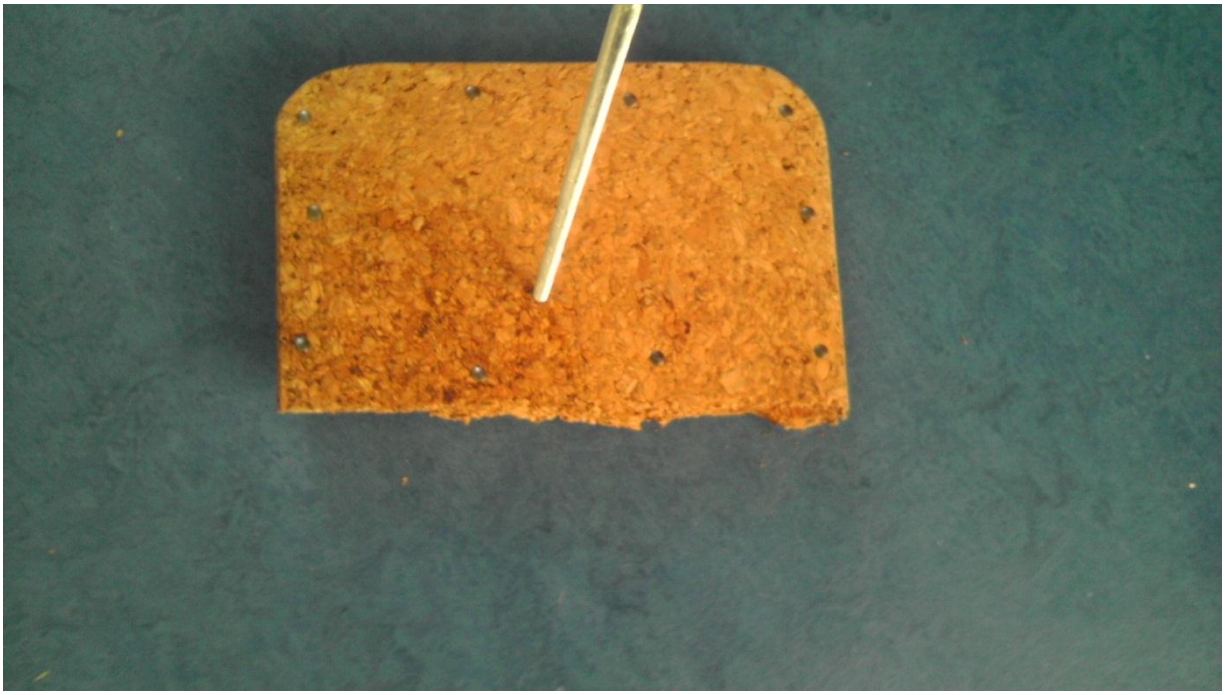


Abbildung 78: Korkplatten mit Nägeln justiert

Als nächstes wurde ein Ring gefertigt. Dieser entstand durch das Zwirbeln des Doppeldrahts mit einem weiteren härteren Draht. Er wurde so angepasst, dass der Umfang ein wenig größer war, als der der Schraube, damit sich der Ring später drehen konnte. Daraufhin wurde ein weiterer Ring gefertigt, welcher allerding fest angezogen wurde und so unter dem ersten Ring für dessen konstant beibehaltene Position verantwortlich war.

Zur Prüfung wurde der Tischtennisball mit einem Loch versehen und die Scheibe sowie der Ball auf die Schraube gesteckt (Abb. 79).

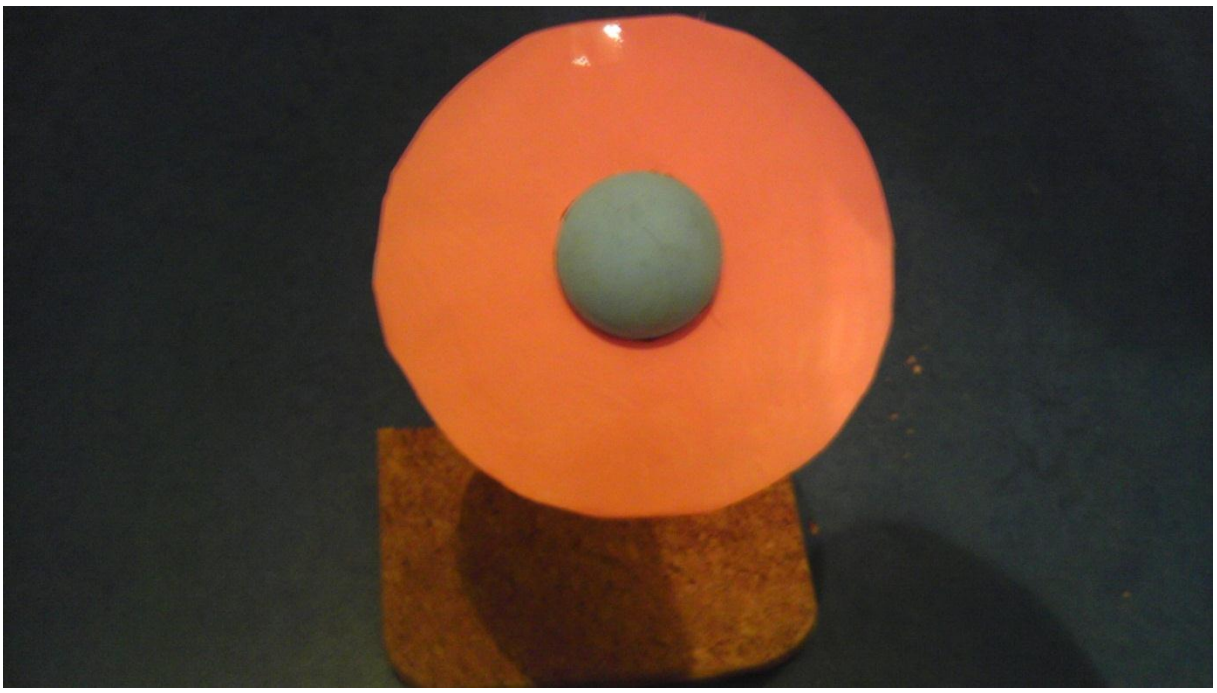


Abbildung 79: Modell mit Stern und Scheibe

Der elektronische Bau sollte nun beginnen, da sich die Scheibe mit Hilfe der Ringkonstruktion ohne Probleme drehen ließ und durch diese gehalten wurde. Die Leuchtdioden besaßen ein größeres Ausmaß als erwartet und die Umsetzung der Beleuchtung gestaltete sich als äußerst schwierig. Geplant war, dass die Leuchtdioden mit einer 3 Volt Batterie betrieben werden sollten. Dies sollte so sein, damit auch Menschen ohne weiteres Wissen, ein solches Modell bauen können. Es sollte ein Modell zum Nachbau werden. Dies war auch kein Problem, allerdings besitzen die Menschen, welche sich nicht mit Elektrotechnik auskennen auch höchstwahrscheinlich keinen Lötkolben. Deswegen wurde eine Methode erdacht, mit der man auf den Lötkolben verzichten kann. Die Idee war, dass der Draht mehrfach um Plus- und Minuspole gedreht werden sollte, damit trotzdem ein geschlossener Stromkreis zustande kommt. Die Befestigung der Leuchtdioden am Modell gestaltete sich als größtes Problem, denn diese mussten so angebracht werden, dass man sie hinterher nicht sieht und sie die Ringkonstruktion der Scheibe nicht einschränken. Nach mehrfachem Probieren musste die Ringmethode für die Scheibe jedoch aufgegeben werden, damit die Befestigung der Leuchtdioden ohne Probleme erfolgen konnte. Der erste Versuch bestand darin einen kleinen Ring aus Folie unter dem Ball am Modell zu befestigen und die Leuchtdioden kopfüber aus dem Tischtennisball auf den Ring zu legen (Abb. 80). Dies klappte schon allein deswegen nicht, da sich die Leuchtdioden innerhalb des Tischtennisballs

berührt hätten. Die nächste Idee war den Ring selber als Befestigung für die Leuchtdioden zu nutzen. Nach mehreren Versuchen scheiterte aber auch diese Methode. Denn die Pole mussten durch Drähte verbunden werden. Auf dem kleinen Aktionsradius des Rings war es aber nicht möglich zwei Drähte so zu verlegen, dass sie alle Minus- und Pluspole der Leuchtdioden berühren ohne sich gegenseitig zu berühren.

Abbildung 80: Versuch mit dem Tischtennisball als Befestigung

Abbildung 81: Erfolgreicher Versuch mit einem großen Ring aus Kunststoff

Deswegen wurde als nächstes ein größerer Ring aus einer anderen Folie herausgeschnitten und das gleiche Verfahren erneut angewendet (Abb. 81). Nach mehreren Versuchen klappte

dies. Anschließend wurden die Drähte für Plus- und Minuspole durch zwei weitere Drähte verlängert, welche später mit der Batterie verbunden werden sollten. Danach wurde ein Stück Papier schwarz angemalt, um die Korkplatten zu ummanteln (Abb. 84).

Abbildung 82: Rückseite des Rings

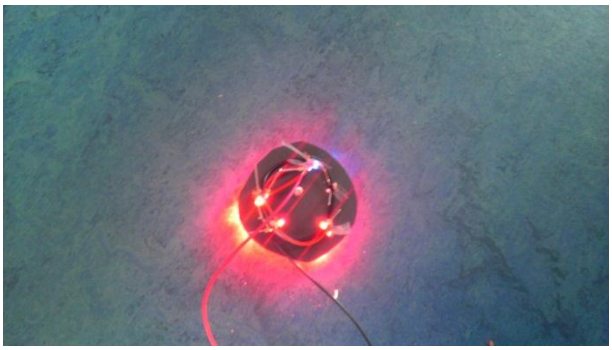


Abbildung 83: Beleuchtete Rückseite des Rings

Abbildung 84: Schwarzes Stück Papier

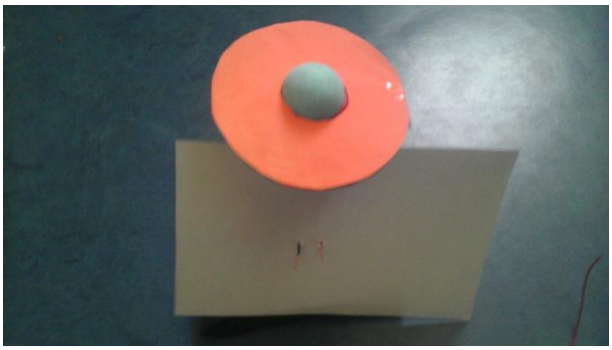


Abbildung 85: Modell durch ein Stück Papier abgedeckt

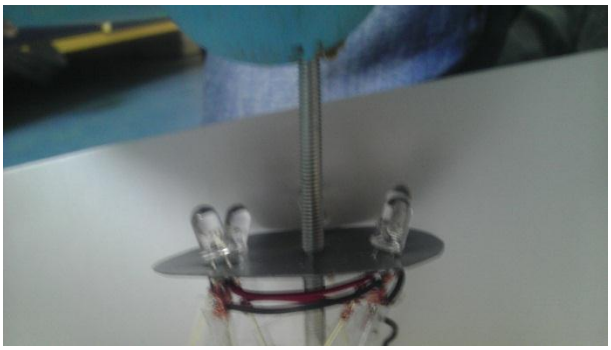


Abbildung 86: Rückseite des Modells

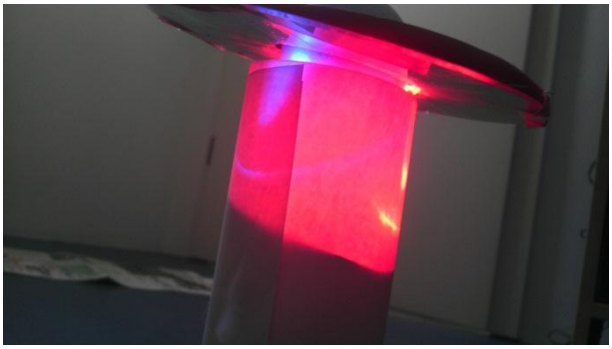


Abbildung 87: Das Modell mit aktiver Beleuchtung (Blauverschiebung)

Dieses wurde danach um die Korkplatten gelegt und auf der Rückseite fest verklebt. Als nächstes wurde der fertige Ring mit den Leuchtdioden auf die Schraube aufgesteckt. Darauf wurde die Scheibe mit Tischtennisball ebenso an der richtigen Position befestigt. Die beiden weiterführenden Drähte wurden durch ein Stück Papier gesteckt (Abb. 85). Dieses wurde anschließend so gerollt, dass es den Ring, sowie die Schraube verdeckte. Die Papierrolle wurde geklebt und befestigt. Danach wurden die beiden aus dem Papier kommenden Drähte mit der Batterie verbunden, welche auf dem schwarzen Boden aufgeklebt wurde. Ein letzter

Funktionstest zeigte, dass sich die Beleuchtung des Modells mit Hilfe des An-und Ausschalters regeln ließ (Abb. 87,88).

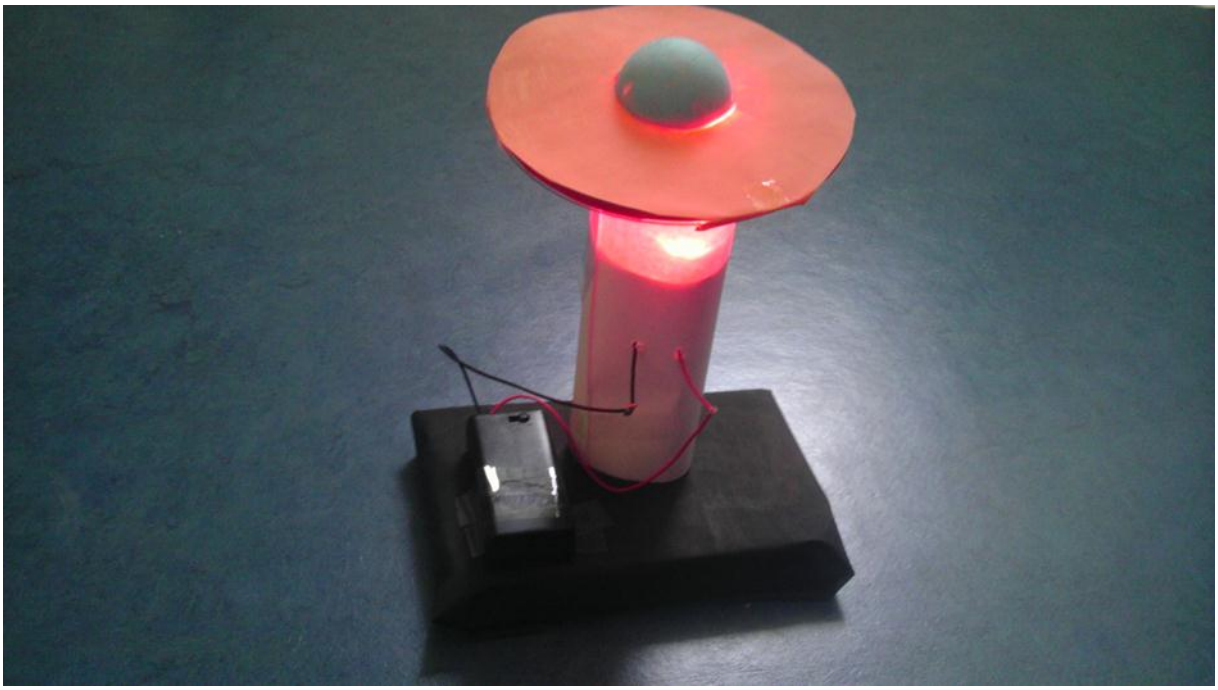


Abbildung 88: Das fertige Modell mit eingeschalteter Beleuchtung

8.4 Vorteile des Modells

Das Modell kann das rote Leuchten der Wasserstoffscheibe von Gamma Cassiopeiae deutlich machen. Dies wäre durch ein Detailfoto von Gamma Cassiopeiae nicht möglich gewesen, da das rote Licht nicht zu sehen gewesen wäre. Außerdem ist beim Modell eine Blauverschiebung zu erkennen, wenn es gegen den Uhrzeigersinn gedreht wird. Die blaue Leuchtdiode ist zwar dauerhaft an der gleichen Stelle leuchtend, allerdings sollte dieses Modell zum Vorführeffekt dienen. Weswegen der Stern und die Scheibe nun miteinander gedreht werden können, da die eigentliche geplante Ringtechnik für die Scheibe von Gamma Cassiopeiae weggefallen ist.

9. Danksagung

An dieser Stelle möchten wir allen danken, die uns bei der Fertigung der Facharbeit geholfen haben. Der Grundbaustein unserer Facharbeit liegt in der Spektroskopie, an dieser Stelle sei unserem Kursleiter Herrn Winkhaus, unserem Betreuer Herrn Koch und Herrn Pollmann gedankt. Denn diese haben uns während eines einwöchigen Kurses in den Herbstferien 2011, die Grundlagen der Spektroskopie beigebracht sowie den Umgang mit den technischen Hilfsmitteln und das selbstständige Arbeiten an der Sternwarte. Zudem hat uns Herr Koch während der Fertigstellung der Facharbeit immer als Ansprechpartner geholfen und uns tatkräftig zu Seite gestanden. Wir danken Herrn Winkhaus für die Chance, dass wir eine astronomische Facharbeit dieses Ausmaßes anfertigen durften, da dies ohne die Bereitstellung der nötigen Mittel nicht möglich gewesen wäre. Unser letzter Dank gilt unseren Mitschülern und Angehörigen, welche uns bei unserer Arbeit unterstützt haben.