



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG E.V.

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Regionalwettbewerb Jugend forscht

SOLINGEN



Spektralklassifikation

Benedikt Schneider

Schule:

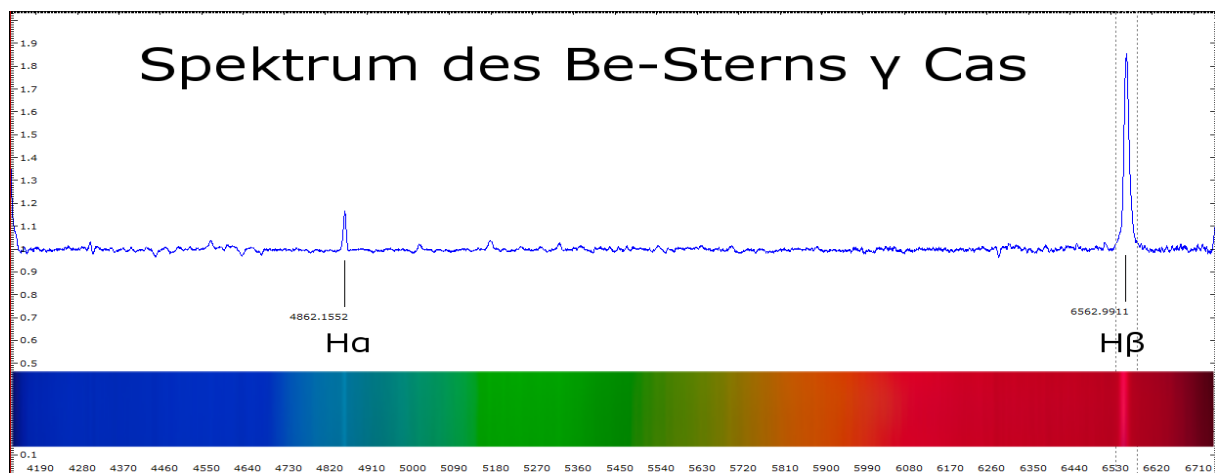
Carl-Fuhlrott Gymnasium
Wuppertal

Jugend forscht 2012

Jugend-Forscht Arbeit Leistungskurs Physik
betreut von Michael Winkhaus und Bernd Koch

Spektralklassifikation

Die Jugend-Forscht Arbeit wurde im Rahmen eines dreiteiligen Praktikums über Spektroskopie am Carl-Fuhlrott-Gymnasium in der Zeit vom 27.11.2010 bis zum 16.01.2012 erstellt



Verfasser: Benedikt Schneider (0202/ 47 35 98)

Abgabetermin: 16.01.2012

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1	Einleitung	ab 2
1.1	Begründung des Themas	2
1.2	Thematischer Schwerpunkt	3
2	Spektralklassifikation	ab 3
2.1	Die Klassifikationsgruppen	3-4
2.1.1	O-Stern: δ Ori (Orion)	4-5
2.1.2	O-Stern: λ Ori (Orion)	5-6
2.1.3	B-Stern: α Leo (Leo)	6
2.1.4	Be-Stern: γ Cas (Cassiopeia)	7
2.1.5	A-Stern: β Leo (Leo)	7-8
2.1.6	F-Stern β Vir (Virgo)	8-9
2.1.7	G-Stern: β Boo (Bootes)	9-10
2.1.8	K-Stern: β Gem (Gemini)	10-11
2.1.9	M-Stern: α Ori (Orion)	11-12
3	Zusammenfassung	ab 13
3.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	13
3.2	Fazit	13-15
	Literaturverzeichnis	15

1 Einleitung

1.1 Begründung des Themas

Die Idee des Themas für die Jugend-Forscht Arbeit kam während der Teilnahme an einem Spektroskopiekurs auf, der unter anderem von dem Lehrer Michael Winkhaus des Leistungskurses generiert und durchgeführt wurde. Dieser dreiteilige Workshop beschäftigte sich im ersten Teil mit der Einführung in die Spektroskopie, um einen Einstieg in das komplexe Thema zu ermöglichen. Der Titel dieses Kurses hieß: „Was verrät uns das Licht von den Sternen?“ und wurde von Herrn Winkhaus persönlich durchgeführt.

Der zweite Teil befasste sich mit der Bearbeitung, der Reduktion und der Auswertung von Sternspektren. Der Dozent war dieses Mal Ernst Pollmann, der Leiter der Fachgruppe ASPA zur „aktiven Spektroskopie“ und schon mehrere Jahrzehnte in der Hobby-Spektroskopie tätig ist. Unterstützt wurde er dabei von Bernd Koch, der ein in diesem Metier bekannter Astrofotograf ist.

Im letzten Teil wurde der praktische Umgang mit einem Spektrographen und der Gewinnung der Spektren mit den Teleskopen der schuleigenen Astronomiestation gelehrt. Abschließend wurden die selbst aufgenommenen Spektren in der gleichen Weise bearbeitet und ausgewertet, wie es schon im zweiten Workshop gelernt wurde. Hier leitete hauptsächlich Bernd Koch den Kurs mit Unterstützung von Ernst Pollmann.

So entstand das Interesse, einmal selber Spektren aufzunehmen, zu reduzieren und auszuwerten. Nach Absprache mit dem betreuenden Lehrer wurde dann auch das konkrete Thema festgelegt. Ausgewählte Sterne sollten spektroskopiert und dann klassifiziert werden.

Dieses Thema eignete sich hervorragend für eine Jugend-Forscht Arbeit, da ein komplexer Sachverhalt die Theorie auf einem hohen Niveau mit einer nicht alltäglichen Praxis verband. Außerdem bestand schon länger das Interesse, sich das Schülerlabor Astronomie aus der Nähe anzuschauen und zu benutzen, da nicht viele die Möglichkeit haben, eine derartige Einrichtung zu benutzen. Also war auch das persönliche Interesse gesichert, das bekanntermaßen sehr wichtig für das Verfassen einer solch umfangreichen Arbeit ist.

Im abschließenden Fazit werde ich dann zum Verlauf der Arbeit Stellung nehmen.

1.2 Thematischer Schwerpunkt

Zunächst folgen einige wichtige Anmerkungen zum Umfang der Jugend-Forscht Arbeit.

Die Spektroskopie ist ein komplexes Thema. Im normalen Lehrplan ist nicht das komplette Thema vorgesehen; es wird auch nur in der 13. Klasse gelehrt. Daher wäre es in dieser Arbeit zu ausführlich, beispielsweise die Reduktion von Spektren penibel zu beschreiben. Daher wird im Anhang Material beigefügt, in dem der Leser bei weiterem Interesse die Möglichkeit erhält, die genaue Vorgehensweise zu verstehen, bzw. selber durchzuführen. Bei Rückfragen steht der Verfasser der Jugend-Forscht Arbeit gerne zur Verfügung.

Im Hauptteil dieser Arbeit wird auch nur eine kleine Einführung in die Spektroskopie gegeben und damit das nötige, weitere Fachwissen vorausgesetzt. Bei eventuell fehlenden Kenntnissen sei an dieser Stelle auch auf den Anhang verwiesen.

Die Spektren der einzelnen Sterne wurden größtenteils selber aufgenommen; es sind neben den jeweils 20 Bildern pro Serie meistens auch 20 Darkframes erstellt worden. Die fertigen Spektren mussten dann „nur“ noch wellenlängen- kalibriert, normiert und klassifiziert werden. Zusätzlich wurden dann Präsentationsansichten erstellt, damit die Ergebnisse übersichtlich dargestellt werden können.

Die Harvard-Klassifizierung einiger Sterne stellt also den thematischen Schwerpunkt dar und es soll zu jedem Spektraltyp O-B-A-F-G-K-M mindestens ein Sternspektrum vorgestellt werden.

2 Spektralklassifikation

2.1 Die Klassifikationsgruppen

Im Folgenden werden die Klassifikationsgruppen beschrieben und mit einem Beispielstern näher erläutert. So wird die Einordnung in die jeweilige Gruppe besser deutlich, da sie auch visualisiert werden kann. Die genannten Merkmale wurden aus verschiedenen Quellen zusammengefügt, um eine möglichst breite Klassifikation zu ermöglichen.

Die Präsentationsansichten zeigen jeweils den Namen des Sterns, das Farbspektrum und den Spektralverlauf. Zusätzlich werden die markantesten Absorptionslinien extra benannt. Die Daten über den verwendeten Spektrograph, die verwendeten Programme etc. sind dem Informationstext unterhalb des Spektralverlaufs zu

entnehmen. Ein vergrößertes Spektrum zeigt jeweils noch die zusätzlichen Absorptionslinien, die in den Präsentationsansichten nicht genannt werden.

Das nachfolgende Wissen wurde dem Spektralatlas von Richard Walker (2010, S. 19-70), sowie der Anleitung zur Spektralklassifikation von dem Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik (2003) entnommen.

2.1.1 O-Stern: δ Ori (Orion)

Begonnen wird mit dem O-Stern δ Ori, dem vierthellsten Stern des Sternbilds Orion.

Typisch für diese Klassifikationsgruppe sind die mittelstark ausgeprägte Balmerreihe von Wasserstoff und die auffällig wenigen Absorptionslinien. Außerdem sind noch ein paar ionisierte Heliumlinien zu erkennen, die schwach ausgeprägt sind. Aufgrund der hohen Oberflächentemperatur werden viele Elemente komplett ionisiert und damit sozusagen im Spektrum unsichtbar. So entsteht ein kontinuierliches Spektrum:

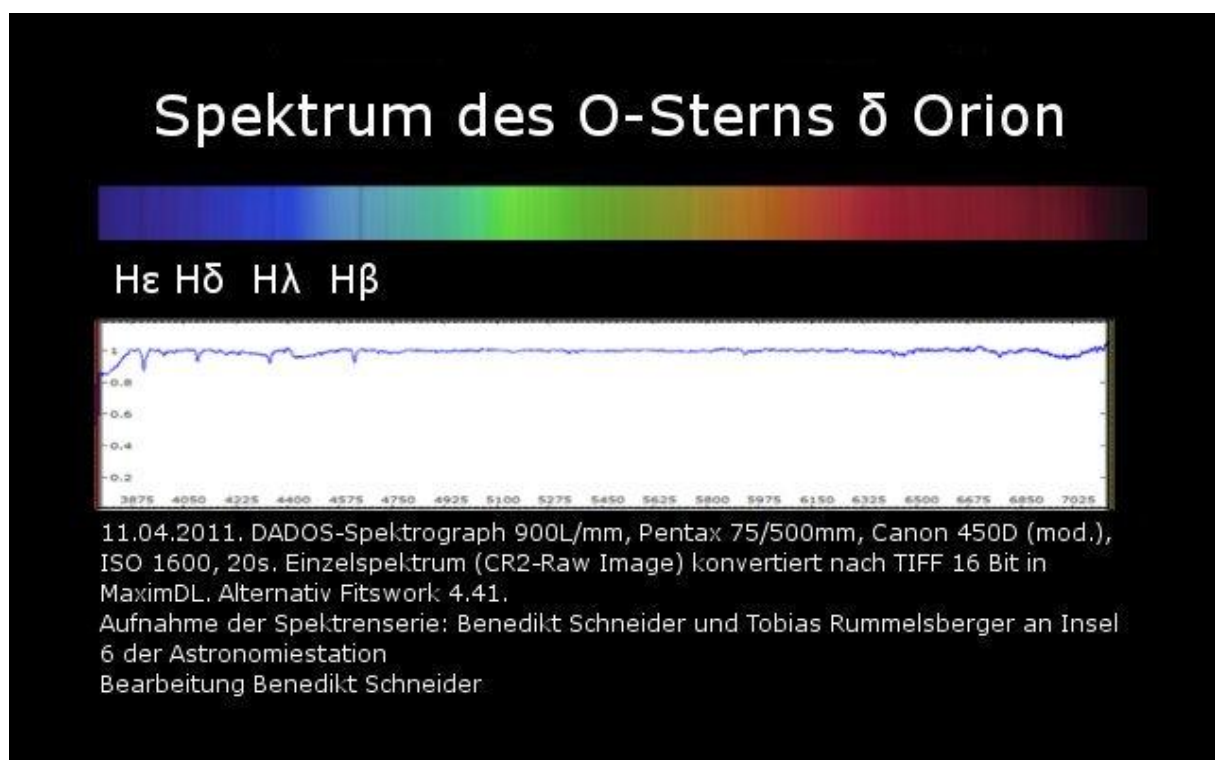


Abb. 1: Spektrum des Sternes δ Ori mit den markantesten Linien des Spektrums, nämlich die Wasserstofflinien $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ und $H\delta$

Anmerkungen zum vorliegenden Spektrum:

Es handelt sich um den O9.5II Stern Mintaka (δ Ori), dessen visuelle Helligkeit um 2.2 mag eingestuft wird. Außerdem ist Mintaka ein heller Riese.

Das kontinuierliche Spektrum wird lediglich durch die Balmer Serie von Wasserstoff durchbrochen. Die H α Linie ist kaum sichtbar, da es sich um einen sehr heißen Stern handelt, dessen Oberflächentemperatur circa 30.000 Kelvin beträgt. Auch sind deswegen wenig andere Elemente erkennbar, da sie alle ionisiert sind. Deswegen sind lediglich die H β bis H ϵ Linien erkennbar.

2.1.2 O-Stern: λ Ori (Orion)

An dieser Stelle sollte eigentlich ein Oe-Stern vorgestellt werden. Dazu wurde der Stern λ Ori ausgewählt, der mir als Oe5 Stern empfohlen wurde. Die Empfehlung kam von Ernst Pollmann, der diese Angabe aus dem Buch „Beobachtungsobjekte für Liebhaberastronomen“ von Paul Ahnert entnommen hatte. Nach ausgiebiger Recherche von Herrn Winkhaus stellte sich nun raus, dass die meisten anderen Spektralatlasse λ Ori als O8III-Stern klassifizieren. Da an späterer Stelle ein Emissionslinienstern der Gruppe Be vorgestellt wird, werden die Merkmale eines solchen Sternes trotzdem deutlich. Da diese analog zu der O Gruppe sind, wird hier auf die Präsentation eines Oe-Sterns verzichtet und stattdessen λ Ori als O8III-Stern angesehen. So zeigt sich, dass längst nicht alle Sterne einheitlich klassifiziert sind und es eine reizvolle Aufgabe einer Facharbeit ist, verschiedene Sterne zu überprüfen und zu bestimmen. Also wurde ein Klassifikationsfehler in der Literatur entdeckt, was die Arbeit an der Facharbeit noch interessanter und spannender gemacht hat.

Es folgt die Präsentationsansicht zu dem O8III-Stern λ Ori:

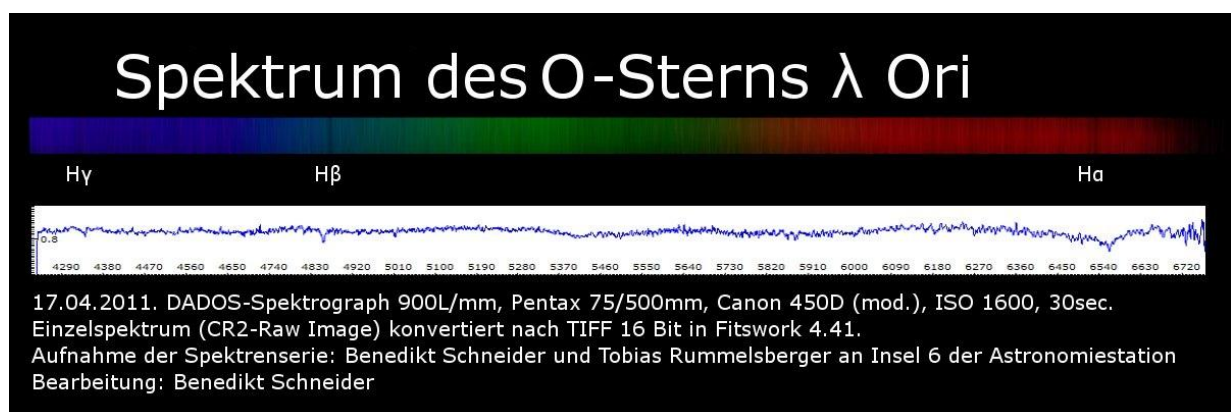


Abb. 2: Spektrum des Sternes λ Ori, gesondert markiert wird hier die Balmer Serie von Wasserstoff mit den H α , H β und H γ Linien.

Anmerkungen zum vorliegenden Spektrum:

Hierbei handelt es sich um den Doppelstern 08III λ Ori, dessen visuelle Helligkeit bei 3,49 mag eingestuft wird. Da es sich um einen Doppelstern handelt, gehören zwei Sterne zu λ Ori. Die erste Komponente ist ein blauer Riesenstern des Spektraltyps O8 III. Die zweite Komponente ist ein bläulich-weißer Zwergstern mit dem Spektraltyp B 0,5V. Dieser wurde hier spektroskopiert. Die Oberflächen-Temperatur beträgt circa 33.000K. Das Spektrum enthält die mittelstark auftretende Balmer Serie von Wasserstoff. Die H α bis H γ Linien sind gut erkennbar.

2.1.3 B-Stern: α Leo (Leo)

B-Sterne sind nicht so heiß wie O-Sterne, deswegen nimmt der Ionisierungsgrad ab. Die Balmer-Serie des Wasserstoffs nimmt in der Stärke zu. Die He I-Linien sind nicht mehr zu erkennen, allerdings sind die He II-Linien immer noch vertreten. So entsteht ein relativ ähnliches Spektrum wie bei den O-Sternen:

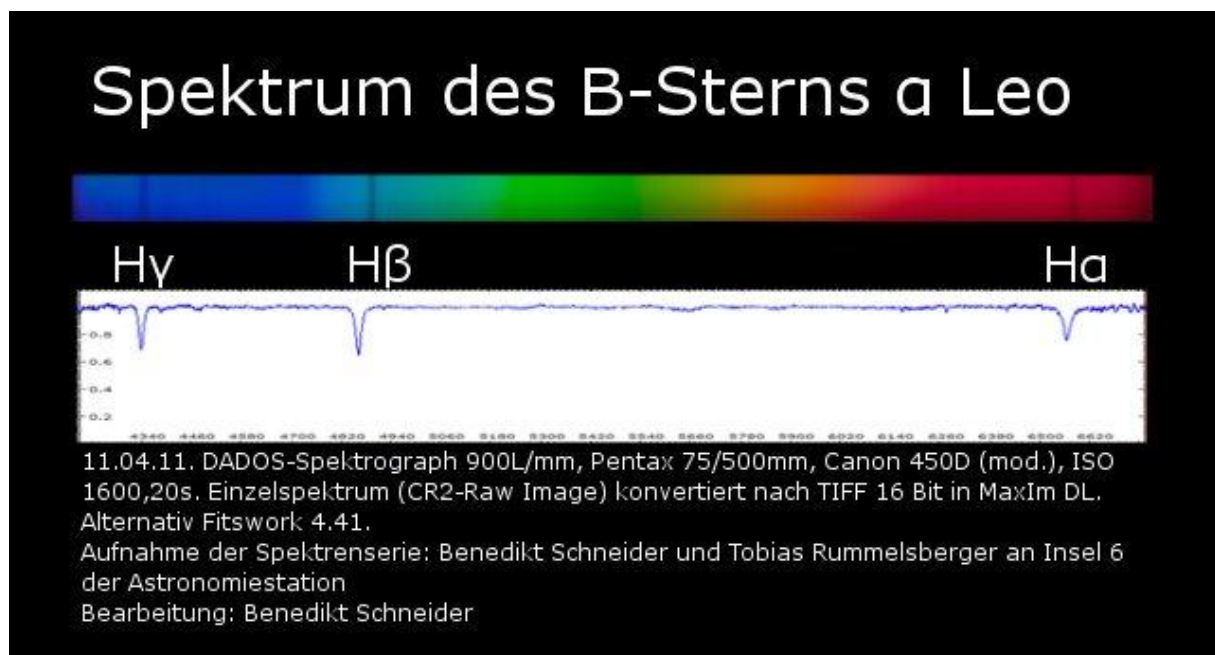


Abb. 3: Spektrum des B-Sterns α Leo mit den markantesten Linien des Spektrums; die H α , H β und H γ Linien von Wasserstoff.

Anmerkungen zum vorliegenden Spektrum:

Der B8V Stern α Leo gehört zu den „späten Typen“ der B-Sterne. Regulus ist ein Hauptreihenstern. Die Oberflächentemperatur beträgt um die 12.000 K und ist damit deutlich kühler als bei den O-Sternen. Die Balmer Serie tritt mit den H α bis H γ Linien

deutlich auf. Des Weiteren kann man H ϵ -Linie bei der Wellenlänge 5876 und die tellurischen Linien O $_2$ bei 6263 erkennen, die aber eher schwach ausgeprägt sind.

2.1.4 Be-Stern: γ Cas (Cassiopeiae)

An dieser Stelle wird nun noch einmal extra ein Be-Stern vorgestellt, da auch dort zusätzliche Emissionslinien im sonst typischen B-Spektrum auftreten.

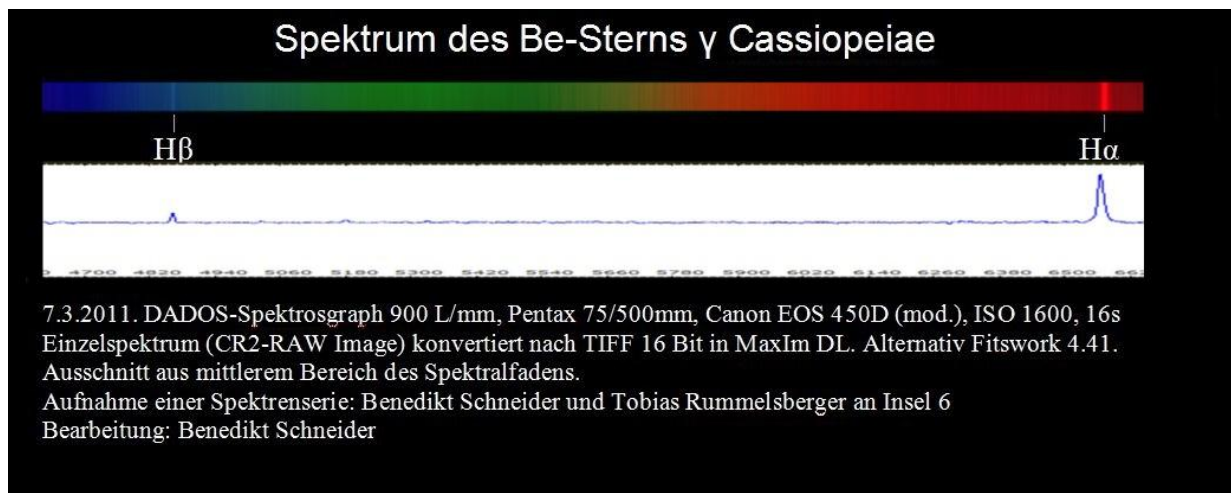


Abb. 4: Spektrum des Sterns γ Cas mit den gesondert aufgeführten Wasserstofflinien H α und H β .

Anmerkungen zum vorliegenden Spektrum:

Der Be0V Stern ist ein Hauptreihenstern mit einer visuellen Helligkeit von 2,2-2,5mag. Die Oberflächentemperatur ist mit 25.000 K ein heißerer Stern aus der B-Serie. Besonders H α und H β der Balmerreihe von Wasserstoff sind hier am markantesten ausgeprägt. Die vielen schwach auftretenden Emissionslinien sind schwer zuzuordnen.

2.1.5 A-Stern: β Leo (Leo)

Die Balmer-Serie erreicht die maximale Stärke, somit sind die Wasserstofflinien am stärksten ausgeprägt. Die Heliumlinien verschwinden vollständig, dafür erscheinen aber bestimmte Ca II Linien. Ab der Klassifikationsgruppe A6 ist die Ca II K Linie stärker als H γ . Teilweise treten auch Mg II Absorptionslinien auf, allerdings nur sehr schwach.

Das Spektrum sieht folgendermaßen aus:



Abb. 5: Spektrum des Sterns β Leo, mit den markanten Wasserstofflinien $H\alpha$, $H\beta$ und $H\gamma$ und der Ca II K Linie (Unten: aufgenommen mit der ALCCD 5.2).

Anmerkungen zum vorliegenden Spektrum:

Der A2V Stern β Leo ist ein „früher“ A-Hauptreihenstern und der zweithellste Stern im Sternbild Löwe. Die visuelle Helligkeit beträgt 2,23mag. Die Oberflächentemperatur ist nicht mehr so heiß wie bei den vorherigen Sternen, denn sie beträgt 8.500 K. Die Balmerreihe ist am stärksten ausgeprägt. Die Ca II K3934 Absorptionslinie ist neben $H\gamma$ gut zu erkennen. Das gesamte Spektrum hat aber relativ wenige Absorptionslinien.

2.1.6 F-Stern β Vir (Virgo):

Bei den F-Sternen herrscht eine Oberflächentemperatur von circa 7.000-6.000K. So gehören sie zu den eher kühleren Sternen. Die Balmerreihe schwächt sich im Gegensatz zu den A-Sternen wieder deutlich ab, dominiert aber noch. Die Ca II H und K Linien werden stärker. Zusätzlich erscheint das G-Band, das aus

verschiedenen Metalllinien besteht. Auch an mehreren anderen Stellen treten nun Absorptionslinien von neutralen Metallen auf. Man kann nun nicht mehr von einem rein kontinuierlichen Spektrum sprechen, sondern das Spektrum enthält eine Vielzahl von Absorptionslinien, die den Verlauf unterbrechen. Das Spektrum sieht so aus:

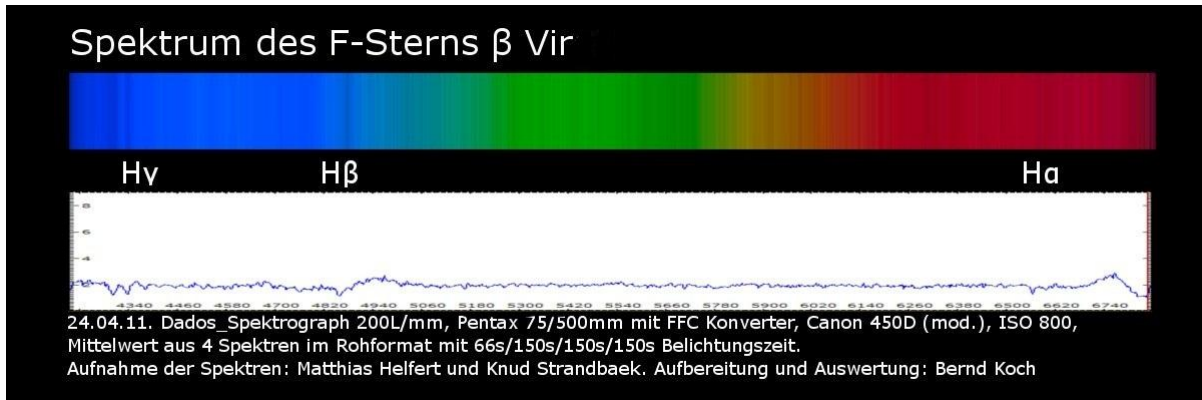


Abb. 6: Spektrum des Sterns β Vir mit den Wasserstofflinien H α , H β und H γ

Anmerkungen zum Spektrum:

Es handelt sich um F8V-Stern β Vir, den zweithellsten Stern im Sternbild Virgo. Die Oberflächentemperatur beträgt circa 6.000 K. Die visuelle Helligkeit beträgt 3.8mag. Die Balmer Serie ist deutlich erkennbar, H γ tritt am markantesten auf, H β noch deutlich und H α eher schwach. Die Ca II H und K Linien dominieren schon fast das Spektrum. Diese Absorptionslinien sind in dieser und folgender Präsentationsansicht nicht erkennbar, da mit der Kamera EOS450D gearbeitet wurde, die nur den Wellenlängenbereich bis H γ aufnimmt, die H und K Linien liegen deutlich weiter links im Spektrum. Des Weiteren säumen viele schwache Absorptionslinien das gesamte Spektrum.

2.1.7 G-Stern: β Boo (Bootes)

Die G-Sterne ähneln unserer Sonne. Die Oberflächentemperatur beträgt um die 6.000K. Die Balmer Serie ist kaum noch nennenswert, dagegen dominieren nun die Ca II H und K Linien das Spektrum. Auch das schon bei den F-Sternen auftretende G-Band ist jetzt stärker ausgeprägt. Im blauen Bereich treten zusätzlich viele mittelstarke Metalllinien auf, meistens von Eisen und Nickel. Auch im restlichen Spektrum säumen viele Absorptionslinien den Verlauf. Besonderes Augenmerk sollte auch auf die vielen dicht beieinander liegenden Linien im Bereich von circa 380nm bis 390nm Welllängen gelegt werden. Das Spektrum sieht nun folgendermaßen aus:

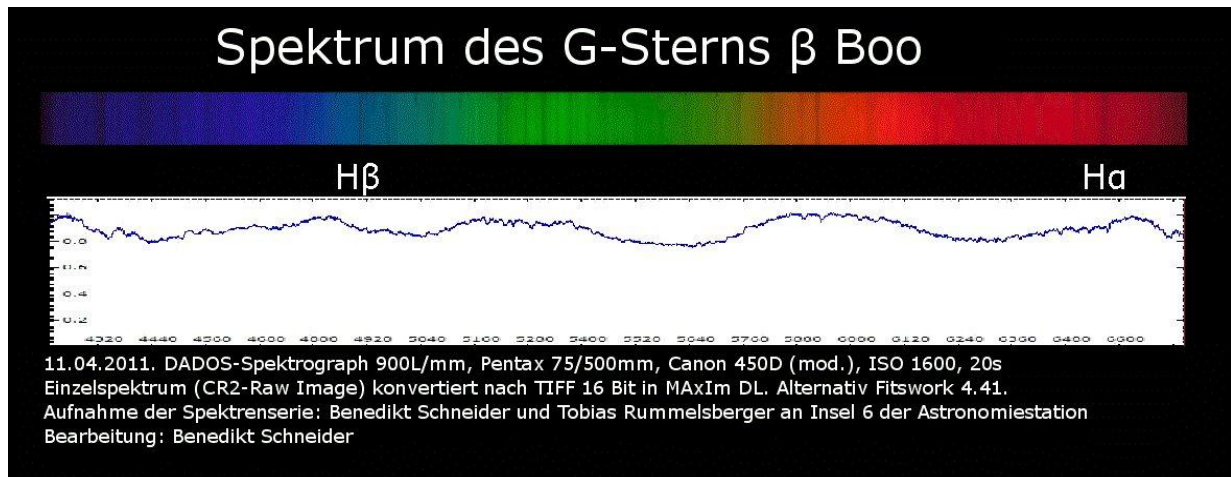


Abb. 7: Spektrum des Sterns β Boo mit den aufgeführten markantesten H α und H β Linien des Wasserstoffs

Anmerkungen zum vorliegenden Spektrum:

Das Spektrum von G8III β Boo wird von den CA II H und K Linien bestimmt, die jedoch sehr schlecht mit der EOS450 D aufzunehmen sind, da der Aufnahmebereich im entscheidendem Bereich zu Ende geht. Die H α Linie ist noch leicht erkennbar, während andere Absorptionslinien schwer zu identifizieren sind. Deutlich zu sehen sind allerdings die vielen schwachen Absorptionslinien, die das Spektrum säumen.

2.1.8 K-Stern: β Gem (Gemini)

Die Spektralklassifikation wird in der K-Gruppe nur von K0-K5 betrieben, die anderen Typen sind ungebräuchlich. Die Oberflächentemperatur beträgt „nur“ noch um die 5.000K, ist somit nochmals kühler als die Sonne. Die Balmerreihe verdient es nicht mehr, genannt zu werden. Wie mittlerweile schon üblich dominieren die CA II H und K Linien das Spektrum. Das G-Band tritt auf, wird aber ab K3 von der CA I Linie in der Wellenlänge 4226A übertrumpft. Zusätzliche Linien, beispielsweise vom Magnesium Triplet, werden allmählich durch die TiO Bande im Wellenlängenbereich 5180A ersetzt.

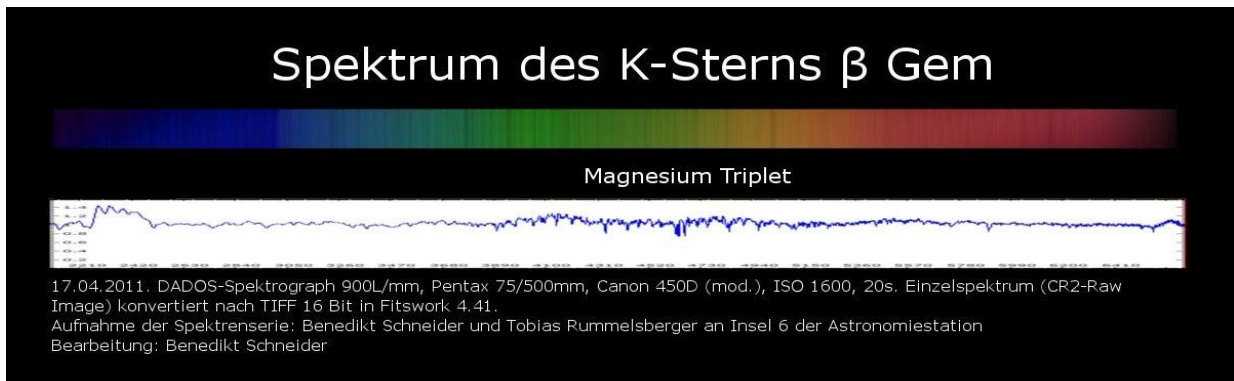
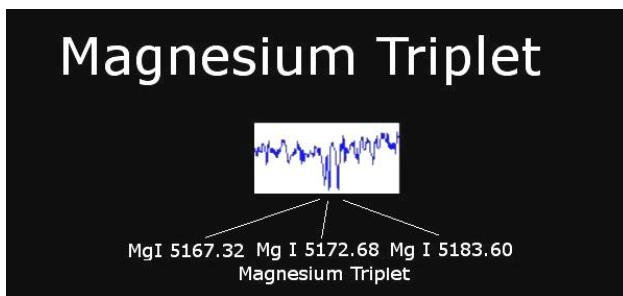


Abb. 8: Spektrum des Sterns β Gem. Extra genannt sind an dieser Stelle das Magnesium Triplet.

Anmerkungen zum vorliegenden Spektrum:

Der K0III Stern β Gem hat eine Oberflächentemperatur von 4.800 K. Es ist ein normaler Riese. Wie oben genannt dominieren die CA II H und K Linien das Spektrum, jedoch sind zahlreiche weitere Absorptionslinien stark genug, um sie



identifizieren zu können. So ist beispielsweise das Magnesium Triplet um die Wellenlängen 5173Å erkennbar. Die TiO Bande um 5180Å lässt sich ebenfalls erahnen.

Abb. 9: Magnesium Triplet im K-Stern β Gem

2.1.9 M-Stern: α Ori (Orion)

Die M-Sterne sind die kühleren Sterne, die Oberflächentemperatur beträgt gerade einmal noch höchstens 3.500 K. Dadurch ist der Ionisierungsgrad der Elemente weit möglichst gesunken. Daraus folgt das Aufkommen von vielen Absorptionslinien, die sich in Banden durch das Spektrum ziehen. So auch das G-Band, das in mehrere Linien zerfällt, oder die Banden von TiO, die in starker Ausbreitung das ganze Spektrum säumen. Das kaum noch kontinuierliche Spektrum sieht folgend aus:

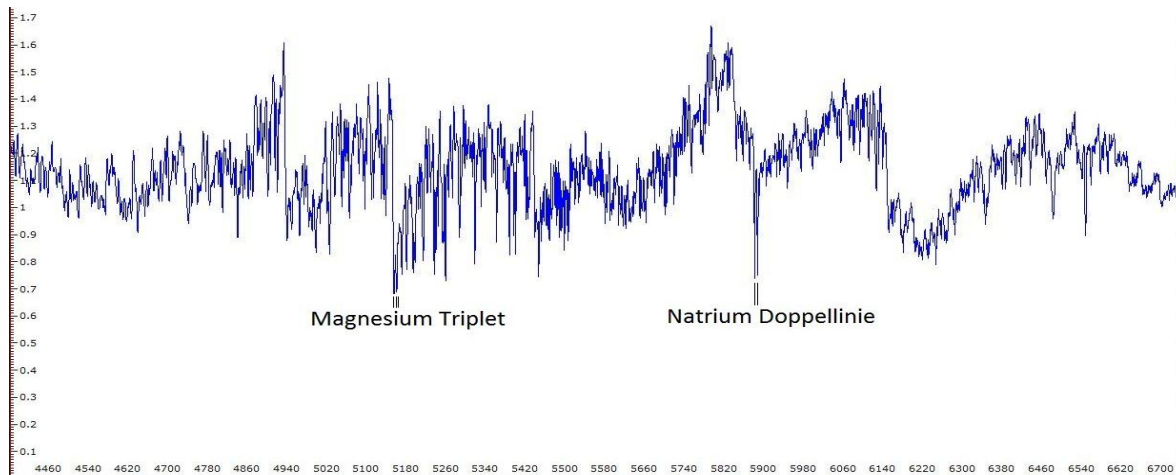
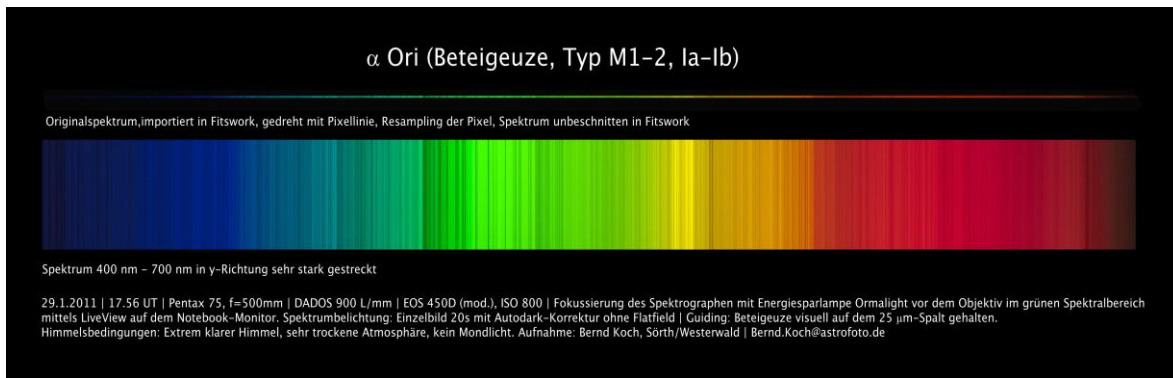


Abb. 10: Oben: Spektrum des Sterns α Ori mit vielen Absorptionslinien. Unten: Normiertes Spektrum mit dem herausstehendem Magnesium Triplet und der Natrium Doppellinie.

Anmerkungen zum vorliegenden Spektrum:

Es handelt sich um das Spektrum von Beteigeuze, den hellsten Stern im Sternbild Orion. Die Oberflächentemperatur beträgt nur noch 3.500 K. Die zahlreichen Banden von TiO sind deutlich erkennbar. Auch das zerfallene G-Band um 433nm Wellenlänge ist markant. Die unzähligen Absorptionslinien sind das markanteste Merkmal des M1-2I Sterns. Der Stern zählt zu den Überriesen.

3 Zusammenfassung

3.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Jugend-Forscht Arbeit begann mit einem dreiteiligen Spektroskopiekurs am Carl-Fuhlrott-Gymnasium, in dem das nötige Fachwissen, das über den Physikunterricht hinaus gebraucht wurde, erlernt wurde. Nach der Festlegung des Themas für die Jugend-Forscht Arbeit wurden an drei Spektroskopieabenden an der Schülersternwarte die erforderlichen Spektren aufgenommen.

Nun konnte mit dem Schreiben der Facharbeit begonnen werden. Es wurde eine kleine Einführung in die Spektroskopie gegeben. Für die Präsentation der Spektren wurden sogenannte Präsentationsansichten erstellt, auf denen die Spektralfäden, die Kontinuumskurven und die markantesten Absorptionslinien untereinander angeordnet worden sind, um die Klassifizierung der einzelnen Spektren zu verdeutlichen. In die Präsentationsansichten wurden die eigens aufgenommenen und bearbeiteten Spektren eingebracht.

Zusätzlich zu den Hauptgruppen wurden noch zwei besondere Gruppen (Oe, Be) hinzugefügt, die neben den Merkmalen der Hauptgruppen viele Absorptionslinien enthalten und deswegen extra eingeordnet werden.

Betreut wurde die Jugend-Forscht Arbeit von dem Leistungskurslehrer für Physik Michael Winkhaus und dem Astrofotografen Bernd Koch, die für die Beantwortung der Fragen und das Betreuen der Spektroskopieabende verantwortlich zur Verfügung standen. Mit ihnen wurden viele Diskussionen und ein Erfahrungsaustausch geführt. Auch an den Spektroskopieabenden wurden die Spektren unter der Aufsicht von Bernd Koch aufgenommen. Die Verschriftlichung der Arbeit erfolgte danach aber selbst.

Im Fazit folgt eine persönliche Stellungnahme des Verfassers über den Verlauf der Facharbeit.

3.2 Fazit

An dieser Stelle wird nun ein Fazit aus der gesamten Jugend-Forscht Arbeit gezogen. Dazu zählen auch der dreiteilige Spektroskopiekurs und die Spektroskopieabende an der Schülersternwarte.

Wie schon in der Zusammenfassung der Ergebnisse geschrieben, war die Spektroskopie totales Neuland für mich. Auch war mein Vorwissen über die Astronomie relativ bescheiden. Deswegen musste viel Zeit in die Spektroskopiekurse

investiert werden, um das erforderliche Grundwissen zu erlangen. Diese waren einerseits sehr interessant und unterhaltsam, da viele Mitschüler aus dem Leistungskurs Physik, die gleichzeitig auch teilweise meine Freunde sind, teilgenommen haben. Allerdings muss man sagen, dass es sich öfters auch mal in die Länge gezogen hat. Im Nachhinein verstehe ich jetzt mehr von den langgezogenen, abgehaltenen Diskussionen der erfahrenen Teilnehmer. Insgesamt gesehen wurden die Kurse sehr erfolgreich von den Dozenten durchgeführt, so dass kaum Fragen offen blieben.

Die zeitintensiven Beobachtungsnächte haben sehr viel Spaß gemacht, da nun endlich „richtig“ praktisch gearbeitet wurde. Es war eine interessante Aufgabe, alle Geräte richtig aufzubauen und hinterher im Blick zu behalten, so dass ein qualitativ hochwertiges Spektrum erstellt werden konnte. Auch dort muss ich zugeben, dass sich mein Fachwissen über Sternbilder und der Bedienung von Teleskopen in Grenzen hielt. Das soll aber keinesfalls heißen, dass das Interesse gefehlt hat. Es war erstaunlich, wie selbstverständlich man schon nach kurzer Zeit mit den Fachbegriffen „Absorptionslinien“, „Spektrereduzierung“, oder „Spektralklassen“ umzugehen wusste. Auch stellte das Anpeilen eines Sternes und das exakte Nachführen des Teleskops schon nach relativ kurzer Zeit kein großes Problem mehr dar. Sicherlich ist dort mein Geschick, mich schon nach wenigen Minuten mit neuer Technik erfolgreich auseinanderzusetzen, mit eingeflossen. Erste größere Hürden traten dann bei der Bearbeitung der Spektrenserien auf. Bis ich mit den verschiedenen Wellenlängen und den Merkmalen der Klassifikationsgruppen sicher umzugehen wusste, dauerte es eine Menge Zeit und Nerven. Es war nicht immer motivierend, erneut einen Versuch starten zu müssen, wenn mal wieder das Programm abgestürzt war oder ein inakzeptables Ergebnis herauskam.

Außerdem wurden interessante Erfahrungen gemacht, die auch die Arbeit der Schülersternwarte beeinflussen. Die EOS450D zum Beispiel eignet sich aufgrund des fehlenden Ultraviolettensbereichs nicht für die exakte Klassifizierung der kühleren Sterne, da dort die markantesten Absorptionslinien dieser Spektren auftreten. Da dort die Schwarz-Weiß Kamera ALCCD 5.2 zum Einsatz kommt, müssen nun die Spektren zusammengefügt werden, was sehr umständlich ist. Also wäre es sinnvoll, eine Kamera mit größerem Chip für die Sternwarte anzuschaffen, um eine exakte Spektralklassifikation zu ermöglichen. Solche Entdeckungen sind für die Sternwarte sehr kostbar, um die Weiterentwicklung zu ermöglichen.

Nun möchte ich noch etwas zu der Betreuung und den zu Verfügung stehenden Mitteln schreiben. Meines Erachtens kann ein Schüler kaum eine bessere Umgebung finden, um eine Jugend-Forscht Arbeit zu schreiben. Die Sternwarte ermöglicht vielseitige Anwendungen im Bereich der Astronomie. Es gab nie Platz- oder Materialprobleme bei dem Spektroskopieren und das Material war immer einwandfrei und am richtigen Platz. So wurde eine perfekte Arbeitsatmosphäre geschaffen, die nur durch das frostige Wetter manchmal ein bisschen ungemütlich wurde.

Ich war sehr dankbar über die von Herrn Winkhaus angebotene, enge Zusammenarbeit mit ihm und Herrn Koch, denn es traten immer wieder kleinere Fragen über die formalen und inhaltlichen Aspekte auf, die schnell per Mail oder persönlich geklärt wurden.

Nachdem ich nun fertig mit der Arbeit geworden bin, kann ich nur ein sehr gutes Fazit zu ziehen. Ich habe sehr viel in der Astronomie und der Spektroskopie dazu gelernt, was sicherlich nicht unnützlich ist. Es hat mir sehr viel Spaß gemacht und ich bin gespannt, welches Ergebnis meine Arbeit erzielen wird. Auch traf ich meines Erachtens die richtige Entscheidung, in dem Fach Physik geschrieben zu haben.

Also bedanke ich mich abschließend für die gute Zusammenarbeit und hoffe, dass diese Arbeit nicht in ein paar Wochen in einer staubigen Schublade verschwindet und erst in ein paar Jahren wieder zum Vorschein kommt.

Literaturverzeichnis:

- I: Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik: Versuchsanleitung zum Astrophysikalischen Praktikum. Grobe Klassifikation von Sternspektren. Version 14.04.2003 http://www.kis.uni-freiburg.de/fileadmin/user_upload/kis/lehre/praktika/sternspektren.pdf
- III: Walker, Richard: Spektralatlas für Astroamateure. Ein Führer durch die stellaren Spektralklassen. Version 1.4. Dezember 2010 <http://www.ursusmajor.ch/astrostepktroskopie/richard-walkers-page/index.html>

Abbildungsverzeichnis:

- Abbildungen 1-5, 7-9: Privates Fotoarchiv von Benedikt Schneider
- Abbildungen: 6, 10: Privates Fotoarchiv Bernd Koch, bereitgestellt für die Jugend-Forscht Arbeit