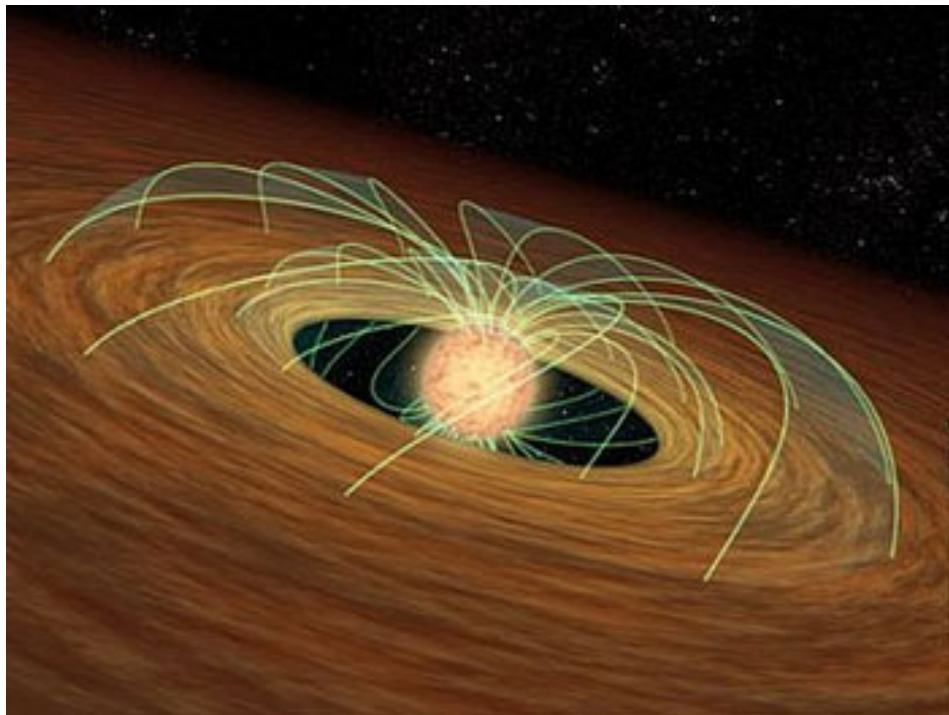


# Spektrale Besonderheiten an Be-Sternen



eine Arbeit von Tristan Zinn  
Klasse 8a  
des Gymnasiums Köln-Pesch

# Inhaltsverzeichnis

Was ich vermitteln möchte .....	3
Warum ich dieses Thema gewählt habe .....	3
Was ist Licht? .....	3
Theorie.....	5
Welche Arten von Spektren gibt es? .....	5
Emissionsliniensterne vom Spektraltyp Be.....	6
Definition Be-Sterne .....	6
Be-Phänomen.....	7
Ausblick.....	9
Schlusswort .....	10
Quellenverzeichnis.....	10

## **Was ich vermitteln möchte**

Anhand von astrophysischen Beobachtungen erkennen wir, wie ein Stern aufgebaut ist. Mit Spektralanalyse ist das möglich. Aber was ist das überhaupt, Spektralanalyse? Mit Spektralanalyse hat man als Laie selten im Alltag zu tun. Stellen wir uns einen Regenbogen vor. Die Farben, die man sieht, sind weißes Licht, welches durch Regentropfen gebrochen wird. Bei der Spektralanalyse macht man genau das gleiche. Anhand von den schwarzen Linien, den so genannten Fraunhoferlinien, kann man viel erkennen. Was genau man da erkennen kann, darauf werde ich im theoretischen Teil näher eingehen. Ich hoffe, dass Ihnen das Lesen der Arbeit genau so viel Spaß machen wird wie mir die Arbeit am Projekt.

## **Warum ich dieses Thema gewählt habe**

Anhand von Spektrallinien kann man erkennen, wie Sterne zu verstehen sind. Das hat mich neugierig gemacht und fasziniert, daher wollte ich mehr darüber erfahren, und so habe ich mich für das Thema „Spektrale Besonderheiten an Be-Sternen“ entschieden, über das ich im Rahmen meines Projektes mehr herausfinden wollte. Aber wie liest man Spektrallinien und was kann man daran erkennen? Das waren die Fragen, die sich mir zu Beginn meines Projektes gestellt haben.

In meinem Projekt habe ich neben Basisinformationen auch weiterführende, detaillierte Informationen herausgearbeitet.

## **Was ist Licht?**

Was ist eigentlich Licht? Natürlich würde man sagen: „Ja das, was man sieht“, doch in Wirklichkeit gibt es auch Licht, das wir nicht sehen. Interessant ist auch, dass Physiker bis heute nicht wissen, was Licht eigentlich ist, aber sie wissen, wie es entsteht. Licht entsteht, wenn ein Elektron von einem energetisch höheren Niveau auf ein energetisch niedrigeres Niveau springt. Die Energiedifferenz wird als Photon emittiert. Also: Licht entsteht im Atom.

Da ich später darauf verweise, möchte ich kurz die Balmer-Serie<sup>1</sup> erwähnen. **Die Balmer-Serie ist eine Folge von Spektrallinien des Wasserstoffatoms, die beim Übergang energetisch höherer Niveaus auf das zweitniedrigste Niveau des Wasserstoffatoms entstehen.** Sie ist benannt nach Johann Jakob Balmer.

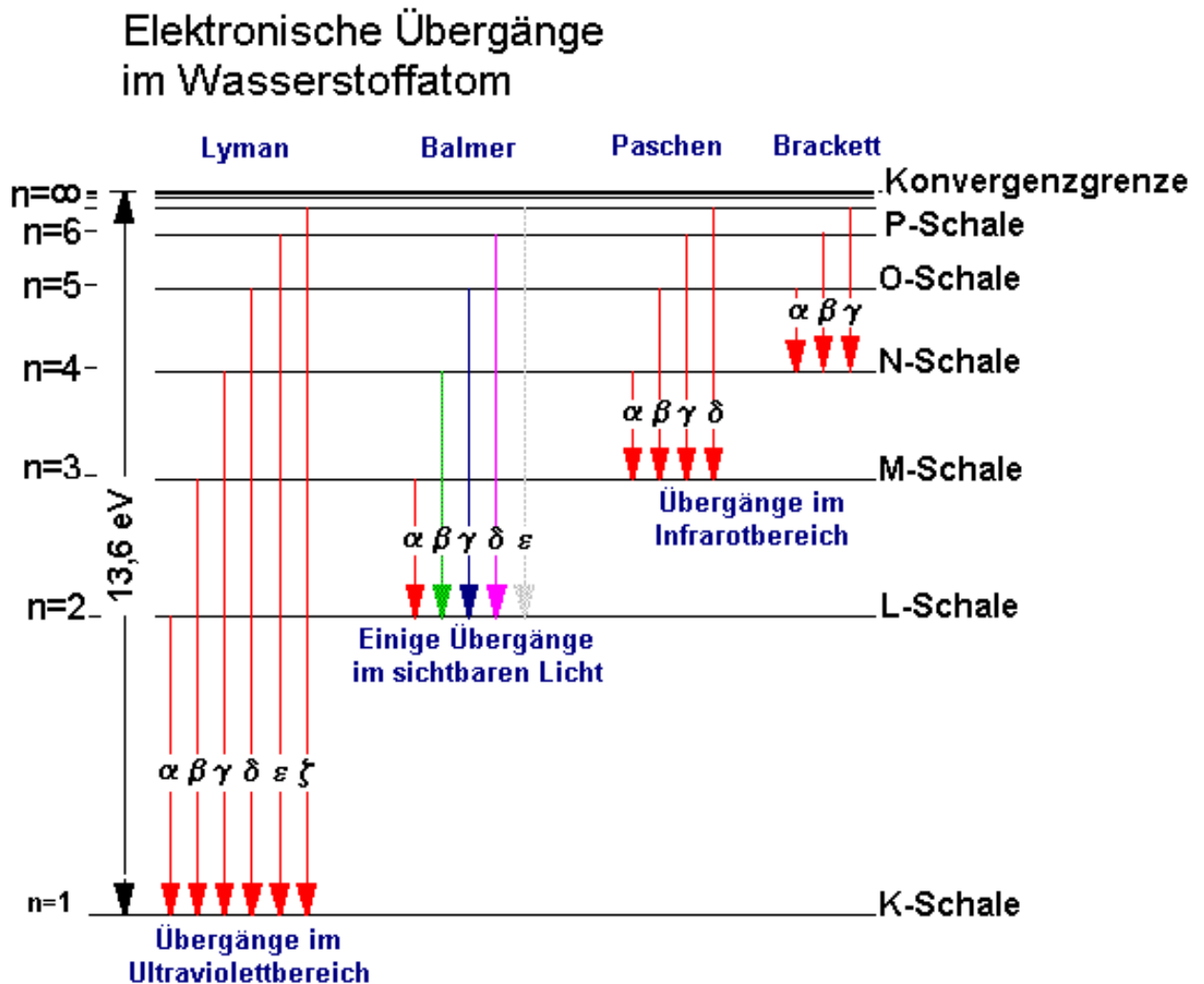


Abb. 1 Emissionsserien des Wasserstoffatoms

Zu allererst aber, ist sichtbares Licht immer weiß, doch als Newton das Licht 1668 mit einem Prisma brach, fiel ihm auf, dass das weiße Licht aus ganz vielen verschiedenen Farben besteht, dem so genannten Spektrum. Im Weltall ist das Licht der einzige wirkliche Untersuchungspunkt eines Physikers, denn aus dem Spektrum erkennt man z.B. anhand der Farben welche Elemente im Atom vorhanden sind und welche Anteile, denn da jedes Atom anders charakterisiert ist hat es auch seinen eigenen Fingerabdruck in Form einer Farbe. Wir erkennen allerdings auch noch viel mehr aus dem Spektrum, so zum Beispiel auch ob und

<sup>1</sup> vgl. dazu W. Finkelburg. Einführung in die Atomphysik, S. 52f.

wohin es sich bewegt, denn anhand der Verschiebungen im Spektrum erkennen wir den Dopplereffekt, aus dem wir schließen können, dass sich der jeweilige Gegenstand bewegt. Anhand der Blau-Rot-Verschiebung im Spektrum erkennen wir auch noch ob sich das jeweilige Objekt von uns weg oder auf uns zu bewegt. Doch auch das ist nur ein Teil des für uns sichtbaren Lichtes, denn der Mensch sieht Licht nur von ca. 400 Nanometer bis ca. 700 Nanometern, der Rest liegt im nicht sichtbaren Bereich. Auch Gamma- oder Röntgenstrahlen, Radiowellen oder Infrarotstrahlen sind Licht, nur können unsere Augen dieses Licht nicht erkennen, weil sie dafür nicht empfindlich sind.

## Theorie

### Welche Arten von Spektren gibt es?

Wenn wir von Spektren sprechen, dann meinen wir Emissionsspektren, Absorptionsspektren oder kontinuierliche Spektren. Das Emissionsspektrum entsteht, wenn ein Elektron in einen energieärmeren Zustand wechselt und somit ein Photon emittiert. Das Spektrum besteht aus hellen Linien auf dunklem Grund und ist spezifisch aufgebaut, abhängig vom Atom.

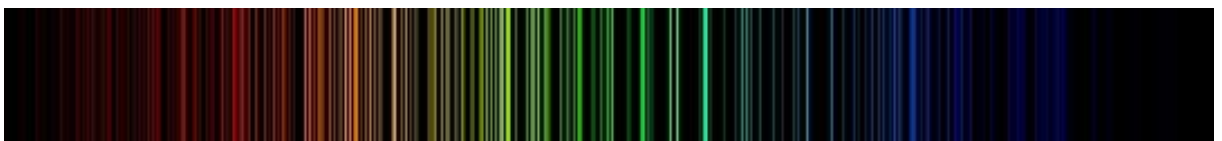


Abb. 2a Emissionsspektrum von Silicium

Man bezeichnet es als Linienspektrum, während ein kontinuierliches Spektrum von glühenden Körpern und Gasen unter hohem Druck emittiert wird. Alle Wellenlängen sind vertreten.

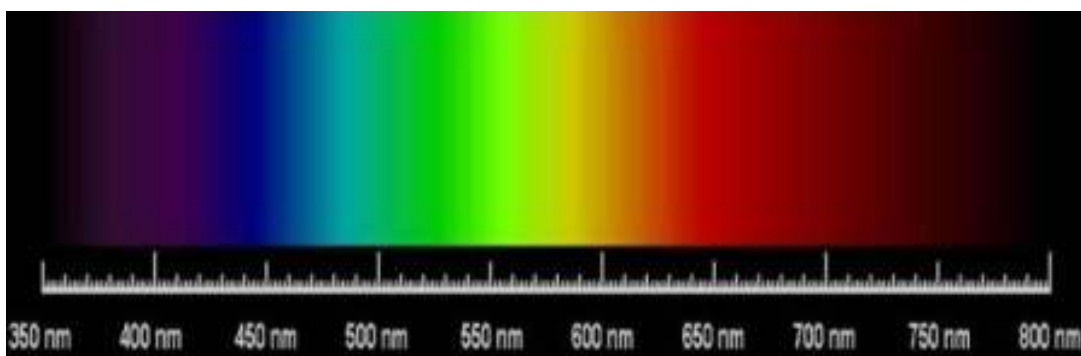


Abb. 2b Kontinuierliches Spektrum des Tageslichts, Einheit Wellenlänge in Nanometer (nm)

Bei einem Absorptionsspektrum befindet sich zwischen der Lichtquelle und dem Betrachter ein Gas. Die Gasatome werden durch die Lichtquelle angeregt, d.h. die Elektronen auf ein höheres Energieniveau gehoben. Es werden Photonen der Energie absorbiert, die nötig ist, das Elektron anzuregen. Der Name Absorptionsspektrum kommt daher, da das Spektrum schwarze Linien aufweist, welche dadurch entstehen, dass das „Atom einen möglichst energiearmen Zustand anstrebt und die Elektronen von dem Gas, welches sich vor dem Atom (Lichtquelle) befindet, angeregt werden und nun in alle Richtungen ausgesandt werden“<sup>2</sup>. Eine solche Absorption erfordert gleiche Energie zwischen Photon und Element. Dadurch strahlt es nicht so viele Photonen nach außen, wodurch die Absorptionslinien entstehen.



Abb 2c Absorptionsspektrum von Hg

## Emissionsliniensterne vom Spektraltyp Be

Nachdem Fraunhofer 1814 die sogenannten Fraunhoferlinien entdeckte, wurde der erste Be-Stern allerdings von Angelo Secchi gefunden, einem Astronom und Mönch, der mit einem Refraktor die Fraunhoferlinien an den Spektren von  $\gamma$ Cas(siopeiae) und  $\beta$  Lyr(ae) nachwies. Seit der darauf folgenden Generalversammlung 1922 in Rom werden Emissionsliniensterne des Spektraltyps B kurz als Be-Sterne bezeichnet.

## Definition Be-Sterne

Die Emissionsliniensterne aus dem Spektraltyp B, kurz Be, haben von allen B-Sternen die extremste Wasserstoff-Emission, welche jedoch mit der Balmerreihe abnimmt.

---

<sup>2</sup> Mester, Achim: Spektralklassifikation von Sternen, S. 4

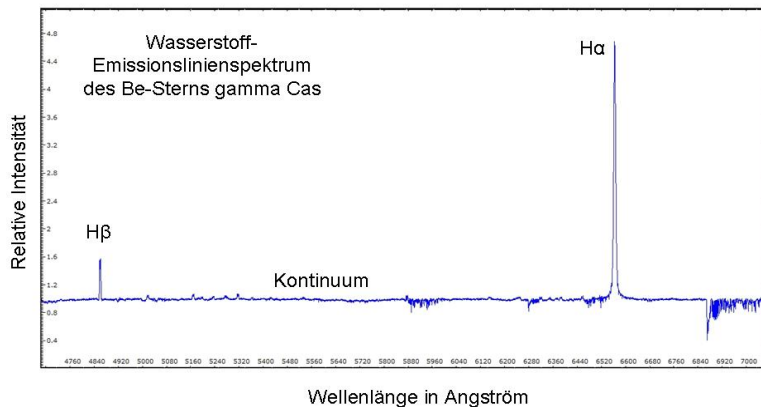


Abb.3: Hochaufgelöstes Amateurspektrum des Prototyps aller Be-Sterne, gamma Cassiopeia aufgenommen von Christian Buil (Frankreich)

Im allgemeinen versteht man heutzutage unter Be-Sternen Sterne, bei denen irgendwann einmal Emissionslinien erwiesen wurden. Bis heute sind ca. 5000 dieser Emissionsliniensterne katalogisiert, darunter 200 mit bloßen Auge sichtbare Sterne. Be-Sterne schotten sich von den normalen B-Sternen vor allem durch ihre besonderen Eigenschaften ab, wie zum Beispiel die schnellere Achsenrotation der Be-Sterne, als auch das heute noch nicht vollständig geklärte Be-Phänomen und die V/R-Variationen, auf die ich später noch eingehen werde. Doch auch unter den Be-Sternen haben alle verschiedene Eigenschaften, so gibt es Be-Sterne, die mit nur 150 km pro Sekunde rotieren, aber auch welche, die mit bis zu 400 km pro Sekunde rotieren. Eine bis heute auch ungeklärte Frage ist die Bildung der Hülle bei Be-Sternen, so hatte Struve im Jahre 1931 die Theorie, dass Be-Sterne aufgrund ihrer Rotation einen Teil ihrer Masse abgeben. Slettebaks Untersuchungen zwischen 1949 und 1982 führten zu dem Ergebnis, dass bei allen Be-Sternen die Äquatorgeschwindigkeiten weit unter dem kritischen Bereich liegen.

## Be-Phänomen

Das Be-Phänomen an sich stellt eine physikalische Besonderheit dar, mit der sich ganze Forschergenerationen befassen haben. Im Wesentlichen versteht man unter Phänomen die Dynamik des Entstehungsprozesses einer Be-Sternhülle und ihre physikalischen Eigenschaften.

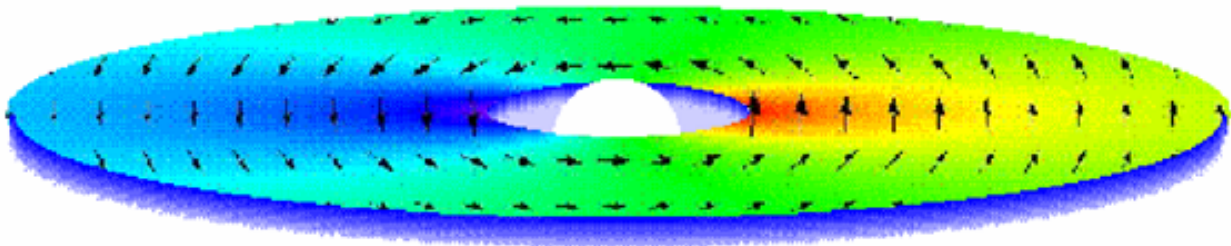


Abb. 4: Schematische Darstellung eines typischen Be-Sterns mit seiner rotierenden Wasserstoffgasscheibe

So z.B. ist heute bekannt, dass die Gasscheiben u.U. keine einheitliche Dichte besitzen, weshalb in den Sternspektren Emissionslinienprofile dahingehend gewisse Eigenarten ausweisen. Man kann sich einen Be-Stern als eine Art Scheibe vorstellen, etwa vergleichbar mit der Ringstruktur des Planeten Saturn. Auch der Neigungswinkel der Gasscheibe selbst, bezogen auf die Sichtlinie des Beobachters hat auf das Aussehen eines Linienprofils einen gewissen Einfluss, auf den ich später noch zu sprechen komme.

Zum oben beschriebenen Be-Phänomen gesellen sich noch mögliche Gasdichteunterschiede in der Be-Sternhülle, die sich wegen der Hüllennrotation und dem damit verbundenen Dopplereffekt als H $\alpha$ -Doppelpeakprofil darstellen.

So zeigt etwa die H $\alpha$ -Doppelpeakemission des Hüllengases eine blauverschobene Peakkomponente, die sog. V-Komponente, sowie eine rotverschobene Peakkomponente, die sog. R-Komponente. Das Intensitätsverhältnis dieser beiden Komponenten V und R beschreibt das sog. V/R-Verhältnis, mit dem diese Dichteunterschiede in der Gashülle definiert sind.

Um die Eigenschaften der Gasringe (Dichte, Temperatur Form und Abmessungen) bestimmen zu können muss man einen Blick auf das Spektrum werfen, welches aus einem kontinuierlichen Spektrum mit überlagerten Emissionslinien besteht. Man kann in aus ihm verschiedene Dinge erkennen. Einige typische Emissionslinienprofile, wie etwa die des sehr gut bekannten Be-Sterns zeta Tauri in Abb.3, weisen Doppelgipfel in ihren Profilen auf, die dadurch entstehen, indem Licht des Zentralsterns auf dem Weg durch die Gashülle absorbiert wird. Diese Absorption äußert sich in einer entsprechenden Absorptionseinsenkung. Diese führt wiederum dazu, dass das Linienprofil in zwei Komponenten als Doppelgipfelprofil in Erscheinung tritt.



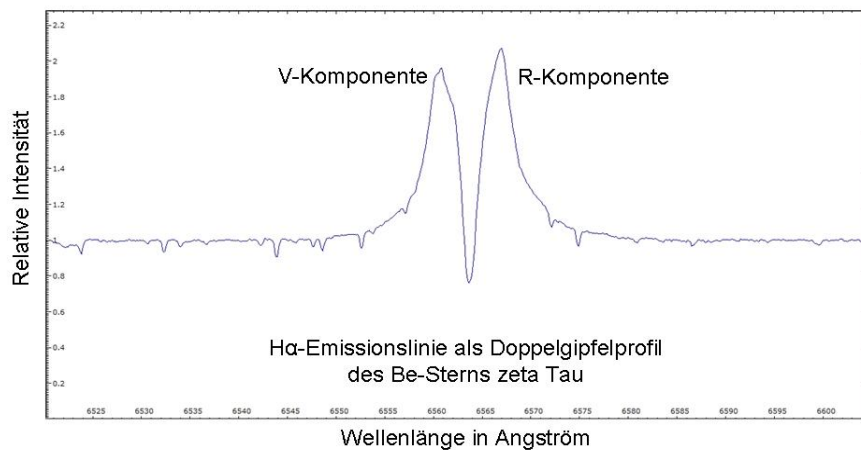


Abb. 5: Hochaufgelöstes Amateurspektrum des inzwischen sehr gut erforschten Be-Sternszeta Tauri im Bereich der Wasserstoffbalmerlinie Halpha. Gut zu erkennen ist in dem Doppelgipfelprofil die oben beschriebene V-und R-Komponente

In dem Doppelgipfel wird die blauverschobene Profilkomponente V und die rotverschobene Komponente mit R bezeichnet. V steht hier für Violett und R für Rot. Wenn man die Dopplergeschwindigkeiten der beiden Liniengipfel mit den projizierten Umlaufgeschwindigkeiten des Hüllengases am Außenrand gleichsetzt, lässt sich daraus der charakteristische Radius der Scheibe berechnen. Die typische Scheibendicke lässt sich mit dem Struves Modell ableiten und durch die Tatsache ableiten, dass etwa 15% aller hellen Be-Sterne schwache Absorptionslinienkomponenten im Zentrum ihrer Emissionslinien aufweisen. Man kann daraus schließen, dass die Ringdicke mehrere Sternradien erreichen kann.

Dies bestätigt auch die Beobachtung, dass nämlich die Gasringe je nach ihrem Neigungswinkel, bezogen auf die Beobachtersichtlinie, die Sternscheibe nahezu fast völlig abdecken können.

## Ausblick

Dies ist nun vorläufig das Ende meiner Arbeit über Be-Sterne, in der ich explizit auf das Be-Phänomen und die dadurch entstehende V/R-Variation eingegangen bin. Ich bin in meiner Arbeit einen Schritt weiter gekommen, jedoch bleiben einige Fragen bezüglich der

Hüllen/Scheibenbildung von Be-Sternen offen, mit der sich Forscher schon seit mehreren Generationen beschäftigen.

## Schlusswort

In meinem Schlusswort möchte ich allen Leuten danken, die mir dieses Projekt ermöglicht haben:

**Ernst Pollmann**, der mich bei meinem Projekt begleitet und tatkräftig unterstützt hat und mir Mut zu einer Weiterführung meines Projektes bei Jugend Forscht gegeben hat.

**Frau Schröder**, die unsere Projektgruppe bei unseren Vorhaben geleitet und unterstützt hat.

**Meinen Eltern und Großeltern**, die mich zu meinen Treffen bezüglich der Arbeit gefahren haben und mich mit Ideen etc. bei meinem Projekt unterstützt haben.

## Quellenverzeichnis

- Cochard, Francois (2015). Warum wir Be-Sterne beobachten. Mitteilungsblatt über Astrospektroskopie für Amateure.

- Dachs, Joachim (1995). Kühle Gasringe um heiße veränderliche Sterne Teil 1. Sterne und Weltraum, 11, S. 798-803.

- Finkelnburg, W.(1976). Einführung in die Atomphysik. Berlin: Springer Verlag, S. 52 f.

- Mester, Achim (2001). Spektralklassifikation von Sternen (Facharbeit im Leistungskurs Physik)

Bildquellen

Abb. 1            Zugriff am 19.5.2015 unter

[http://home.arcor.de/schubert.v/\\_aac/vorles/skript/kap\\_2/kap2\\_8/index.html](http://home.arcor.de/schubert.v/_aac/vorles/skript/kap_2/kap2_8/index.html)

Abb 2a            Zugriff am 18.5.2015 unter

[http://home.arcor.de/schubert.v/\\_aac/vorles/skript/kap\\_2/kap2\\_8/index.html](http://home.arcor.de/schubert.v/_aac/vorles/skript/kap_2/kap2_8/index.html)

Abb. 2b            Zugriff am 18.5.2015 unter [http://www.sorbisches-](http://www.sorbisches-gymnasium.de/projekt3/profilnw3/optik/kontinuierliches%20Spektrum.jpg)

[gymnasium.de/projekt3/profilnw3/optik/kontinuierliches%20Spektrum.jpg](http://www.sorbisches-gymnasium.de/projekt3/profilnw3/optik/kontinuierliches%20Spektrum.jpg),

Abb. 2c            Zugriff am 18.5.2015 unter

[http://home.arcor.de/schubert.v/\\_aac/vorles/skript/kap\\_2/kap2\\_8/index.html](http://home.arcor.de/schubert.v/_aac/vorles/skript/kap_2/kap2_8/index.html)

Abb. 3, 5            Ernst Pollmann, mit freundlicher Genehmigung

