

Zeitschrift: Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft
Herausgeber: St. Gallische Naturwissenschaftliche Gesellschaft
Band: 91 (2008)

Artikel: Spektroskopie von Sternen : Messungen auf der Sternwarte zur Bestimmung physikalischer Größen
Autor: Coulin, Aaron
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-832620>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 07.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Spektroskopie von Sternen- Messungen auf der Sternwarte zur Bestimmung physikalischer Größen

Aaron Coulin

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	403
1. Einleitung.....	403
2. Theoretische Grundlagen.....	404
2.1 Emissionslinien	404
2.2 Absorptionslinien	405
3. Spektrograph	406
4. Spektralanalyse (Auswertung der Spektren)	407
5. Vega.....	408
6. Sirrah.....	408
7. Schlussbemerkungen.....	410
Literaturverzeichnis	410

Zusammenfassung

Die Spektroskopie ist ein Hilfsmittel zur Bestimmung physikalischer Größen von Sternen. Ich habe Spektroskopie auf der Sternwarte der Kantonsschule Heerbrugg betrieben und die Messresultate ausgewertet. Es ist gelungen, mit einem selbstgebauten Spektrographen Spektrallinien nachzuweisen und die beobachteten Sterne anschliessend in ihre Spektralklasse einzuordnen. Die Auswahl der Sterne wurde so getroffen, dass von jeder Spektralklasse mindestens eine Messung vorhanden und ausgewertet wurde, damit ein Quervergleich der Klassen möglich war. Theoretische Grundlagen sollen das Prinzip zur Entstehung von Spektrallinien soweit verständlich machen, dass die praktische Arbeit und die Spektroskopie im Allgemeinen nachvollziehbar werden.

1. Einleitung

Wer nachts bei einem klaren Sternenhimmel in den Himmel schaut, kann viele einzelne Sterne sehen. Es kann zwischen helleren und dunkleren Objekten unterschieden werden. Alle Objekte scheinen dieselbe Farbe von Licht auszustrahlen. Die Fragestellung lau-

tete: Was verbirgt sich hinter diesen geheimnisvollen Lichtern und wie unterscheiden sie sich.

Die Netzhaut des menschlichen Auges besteht aus zwei verschiedenen Typen von Sehzellen: Den Stäbchenzellen und den Zapfenzellen. Die Zapfenzellen erlauben, farbige Bilder zu sehen. Die Voraussetzung dafür ist eine hohe Lichtintensität. Für das Sehen in der Nacht bei schwachem Licht sind die Stäbchenzellen verantwortlich. Sie reagieren schon auf kleinste Lichtreize und erzeugen ein Schwarz-Weissbild. Beim Blick ins dunkle Firmament bleibt das gesamte farbige Licht unerkannt, weil nur die Stäbchenzellen zum Einsatz kommen.

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, einige Geheimnisse von bestimmten Sternen zu enthüllen. Es wurden mittels Spektroskopie die Objekte in ihre Spektralklasse eingeteilt, was Aussagen über deren Beschaffenheit ermöglicht. Die Voraussetzung für die Einteilung ist der Nachweis von Spektrallinien. Die theoretischen Grundlagen helfen dabei, das Prinzip bei der Entstehung von Spektrallinien zu verstehen sowie diese Praktische Arbeit mit den Auswertungen nachvollziehbar zu machen.

2. Theoretische Grundlagen (nach KALER 1994)

2.1 Emissionslinien

«Spektroskopie ist die Wissenschaft von dem Verhältnis zwischen Strahlung und Materie. Sie ist die Grundlage fast all unserer Kenntnisse über die Welt der Sterne.» (KALER 1994). Die Elektronen in einem Atom sind in der Lage, elektromagnetische Strahlung zu absorbieren (aufzunehmen) oder zu emittieren (auszusenden). Die Elektronen eines Atoms umkreisen den Atomkern auf verschiedenen Bahnen. Auf jeder Bahn haben sie eine andere Energie. Wechseln sie nun von einer inneren Schale auf eine Schale weiter aussen, nehmen sie Energie auf und zwar in Form von elektromagnetischer

Strahlung (Licht). Wechseln die Elektronen von einer energiereichen Schale auf eine energieärmere (näher beim Atomkern), senden sie die verlorene Energie in Form von Licht aus. Die freigesetzte, beziehungsweise absorbierte Energie ist genau die Energiedifferenz der beiden beteiligten Elektronenbahnen. Die Wellenlänge des freigesetzten Lichts ist somit für jede Atomsorte verschieden, da das Energieniveau variiert. Dies ermöglicht die Bestimmung der beteiligten Atomsorten.

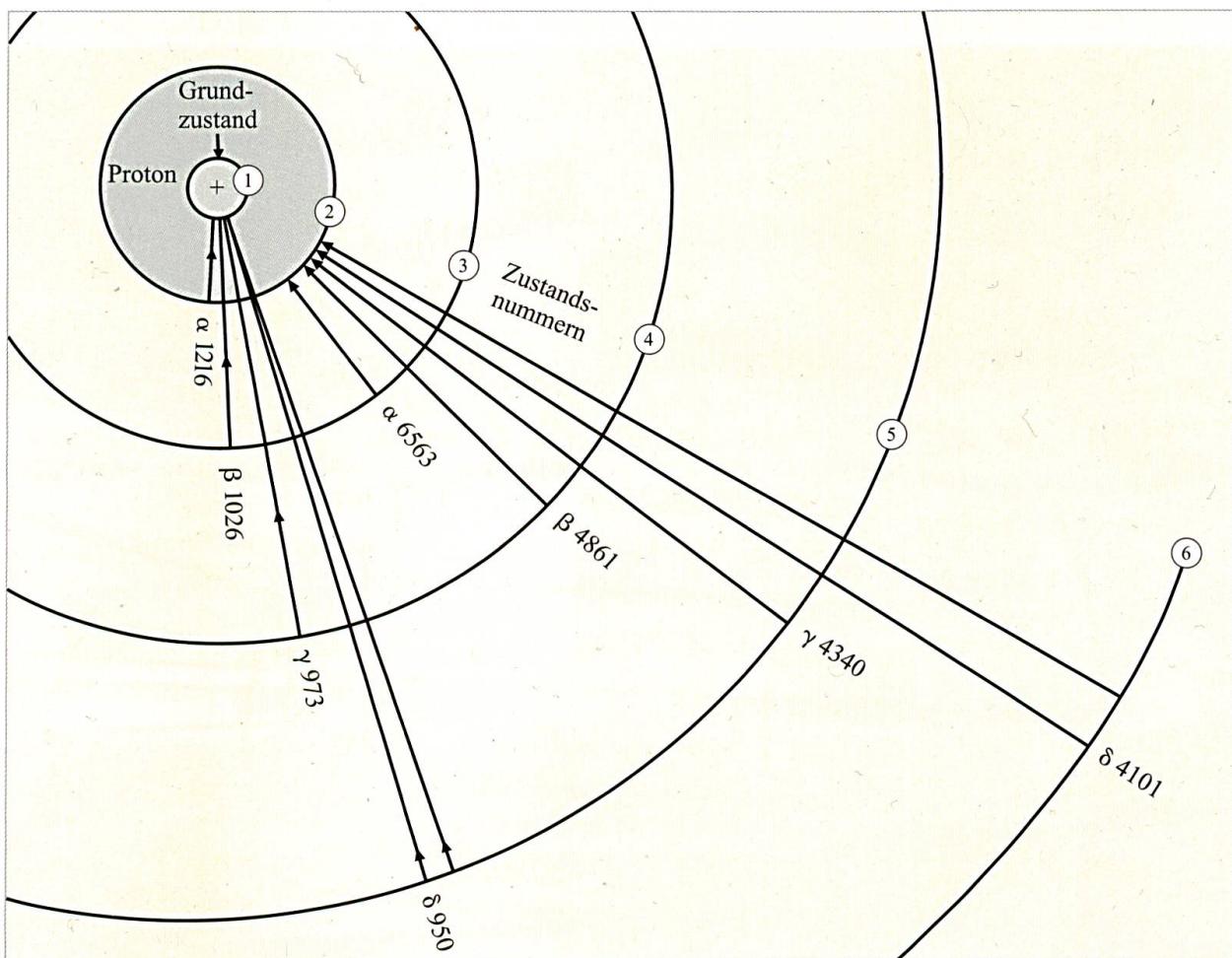
Nehmen wir das Atom Wasserstoff als Beispiel. Es hat den einfachsten Aufbau mit einem Proton, einem Neutron und einem Elektron. Das eine Elektron kreist auf der ersten Schale, da die Position dem Kern am nächsten steht und das Atom so am energieärmsten ist. (Ein energiearmes Atom ist generell stabiler als ein energiereiches.) Dies ist der Grundzustand $n=1$. Nun kann das Elektron verschiedene Schalen besetzen. Die Zwischenräume zwischen den verschiedenen Schalen sind verbotene Zonen und dürfen nicht besetzt werden. Der nächste erlaubte Zustand, $n=2$, entspricht einer Bahn die den vierfachen Durchmesser des Grundzustandes besitzt. So geht es weiter mit $n=3$, $4, 5$ im Prinzip durch alle natürlichen Zahlen n . Der erste Schritt von n auf $n+1$ braucht am meisten Energie, zwischen den höheren Zuständen liegt immer eine kleiner werdende Energiedifferenz. Nun möchte gerne ein Elektron von der zweiten Bahn auf die erste zurück. Dabei wird das Elektron die Energiedifferenz zwischen $n=2$ und $n=1$ wieder los. Diese Energie wird mit der Energie eines Photons verknüpft und zwar mit einer genau bestimmten Wellenlänge. Bei Wasserstoff beträgt diese $\lambda=1216\text{Å}$. Diese Wellenlänge gilt für alle Wasserstoffatome. Ein Atom im Zustand $n=4$ hat mehrere Möglichkeiten, zum Grundzustand zurückzukehren. Es kann jede einzelne Schale kurzzeitig besetzen, einzelne Schalen auslassen oder direkt von $n=4$ zu $n=1$ wechseln. Für jede Änderung wird eine andere Energie, also eine andere Wellenlänge freigesetzt. Welchen Weg die

Elektronen einschlagen, sagt uns die Quantenmechanik. Sie gibt Regeln zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit jedes einzelnen Weges vor. Zu jedem Paar von Zuständen gehört also eine Wellenlänge im elektromagnetischen Spektrum, welche als Spektrallinie bezeichnet wird. Da verschiedene Zustände möglich sind, gibt es auch mehrere Spektrallinien für eine Atomsorte. Diese Zustandsänderungen der Elektronen werden als Quantensprünge bezeichnet (Abbildung 1).

Abbildung 1:
Elektronenbahnen, hier 1–6, sind die Energieniveaus im Wasserstoffatom. Ein Sprung wird mit α bezeichnet, wenn er sich über eine Schale erstreckt. Falls die Differenz der höheren zur tieferen gleich 2 ist, mit β . Differenz gleich 3, mit γ , und so weiter. Die frei werdende Energie in Form von Licht, wird mit der Wellenlänge in Å bezeichnet.

2.2 Absorptionslinien

Im Kapitel 2.1 Spektrallinien wurden nur die Prozesse beschrieben, die mit dem abwärts gerichteten Übergang eines Elektrons von Schale zu Schale zu tun haben. Nun gibt es aber auch noch eine umgekehrte Form, die für die praktische Arbeit eine grosse Bedeutung hat. Die Elektronen können durch Energiezufuhr von einer inneren Schale auf eine äussere springen. Die Energiezufuhr für ein Aufwärtsspringen wird durch die Energieabgabe eines abwärtsspringenden Elektrons oder eines Photons erfolgen. Nun kann aber nicht irgendeine beliebige Energie verwendet werden. Hier spielt wieder die Regel eine Rolle, dass die Zwischenräume zwischen zwei Schalen nicht besetzt werden dürfen (verbotene Zone). Damit der Sprung auf die nächste Schale erfolgt, muss die Energie genau gleich der Energiedifferenz der



beiden Schalen sein. Somit wird nur diese Energie aufgenommen und der ganze Rest des Wellenspektrums ist für das entsprechende Atom belanglos.

Nehmen wir nochmals Wasserstoff als Beispiel. Als Lichtquelle dient eine Wasserstofflampe. Sie sendet vor allem Licht der Wellenlänge $\lambda=1216\text{Å}$ aus, was der Wellenlänge für den Übergang eines Elektrons vom Grundzustand $n=1$ nach $n=2$ entspricht. Wenn nun vor einer solchen Lichtquelle, die das Licht auf eine Wand projiziert, genügend viele Wasserstoffatome hingestellt werden, wird die Wellenlänge $\lambda=1216\text{Å}$ von den Atomen absorbiert. In jenem Bereich, wo sich die Wasserstoffatome aufgehalten haben, wird ein Schatten an die Wand geworfen.

3. Spektrograph

Ein Spektrograph bildet das eingefangene Licht des Newtonteleskops in ein Spektrum ab. Er besteht aus dem Beugungsgitter und einer Kamera in der Bildebene. Die konkrete Anordnung mit den korrekten Abständen der Bildebene vom Newtonteleskop wurde experimentell vor Ort ermittelt (Abbildung 2). Der Beugungswinkel α_m , der zwischen dem Teleskop und dem Spektrographen eingestellt werden muss, wurde ebenfalls experimentell ermittelt. Die Messanordnung geht aus der Abbildung 2 hervor.

Diese Bauart ist einfach und funktioniert einwandfrei. Die Messergebnisse sind befriedigend und für eine Auswertung brauchbar. Sie unterscheidet sich jedoch stark zu einem Spaltspektrographen, weil jener einen grundlegend anderen Aufbau hat.

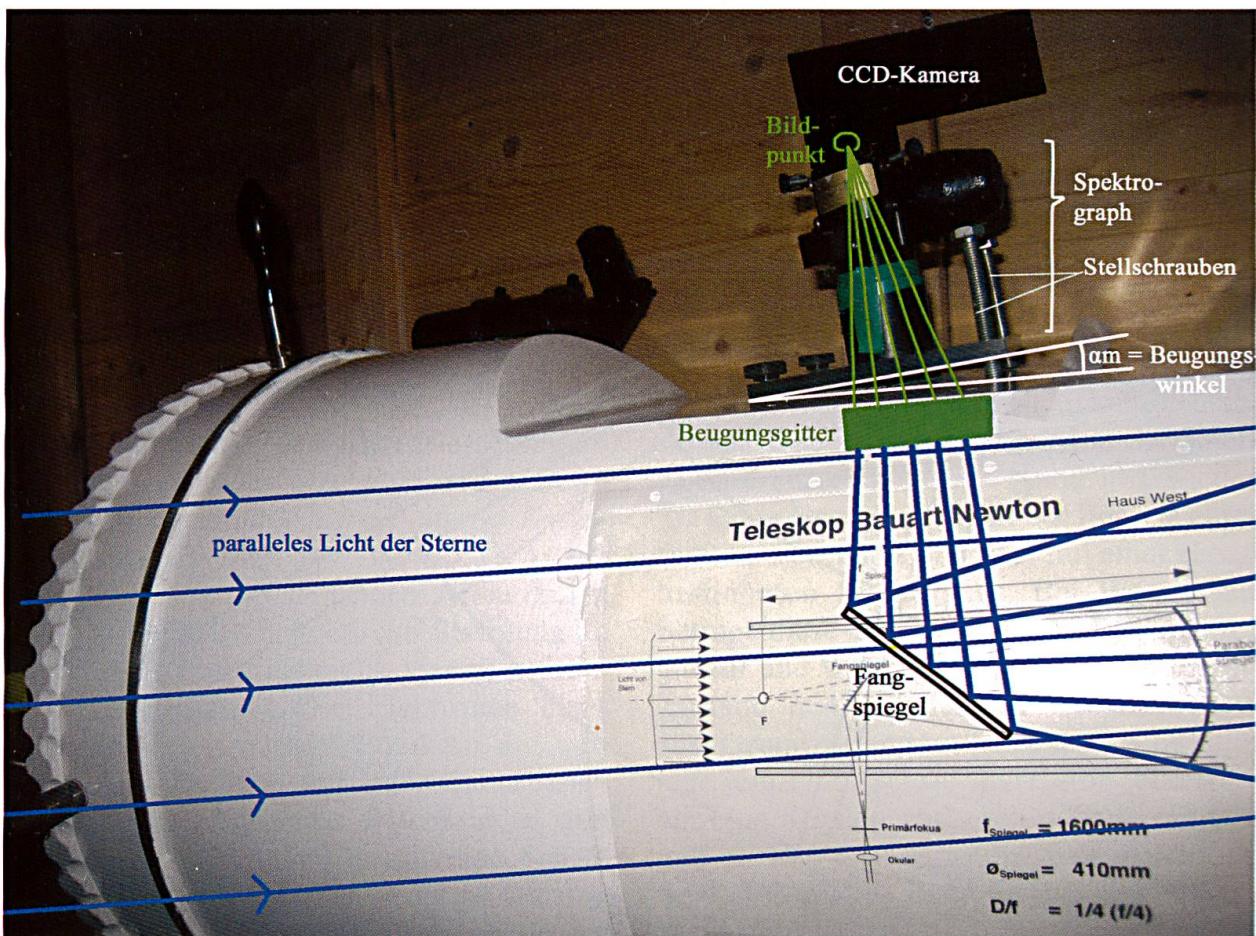


Abbildung 2:
Der Spektrograph besteht aus dem Beugungsgitter und der CCD-Kamera. Der Winkel α_m kann durch Drehen an den Stellschrauben eingestellt werden.

4. Spektralanalyse (Auswertung der Spektren)

Die Darstellung der Spektren ist von langwelligem (rot, energiearm) Licht bis zu kurzwelligem (blau, energiereich) Licht gegliedert. Dies entspricht nicht den Standards, aber die Gliederung von energiearm nach energiereich ergibt doch einen Sinn.

Die mit dem *Clearfilter* aufgenommenen Spektren sind zunächst unbrauchbar für die Auswertung und Bestimmung der Absorptionslinien, weil sie nur in einem Schwarz-Weiss Bild erscheinen. Dieser Filter lässt alles Licht hindurchtreten. Der CCD-Chip der Kamera ist in der Lage, zwischen hell und dunkel zu unterscheiden. Es erscheint ein Schwarz-Weiss Bild. Von Auge würde man die Regenbogenfarben sehen (Abbildung 3).

Ziel ist es, die Absorptionslinien den bestimmten Elementen zuzuordnen, welche sie verursachen. Dazu benötige ich eine Skala mit der Wellenlänge. Mit der Aufnahme in Abbildung 3 hat man keine Anhaltspunkte, um eine Skala zu erstellen.

Deshalb wurden bei den Aufnahmen auf der Sternwarte zu jedem beobachteten Stern noch drei einzelne Farbaufnahmen gemacht und zwar je mit dem *roten, grünen und blauen Farbfilter*. Die drei übereinander gelegten Farbbilder ergeben ein dreifarbiges Spektrum (Abbildung 4).

Aus der Farbaufnahme erkennt man, welche Seite des Spektrums energiearm (rot), und welche energiereich (blau) ist. Mit Hilfe der Abbildung 3 kann ich eine grobe Skalierung des Spektrums anfertigen. Ich weiss zum Beispiel, dass das rote Spektrum von der Wellenlänge $\lambda=6100\text{\AA}$ bis $\lambda=6780\text{\AA}$ reicht. Diese Grenzen werden gekennzeichnet.

Weil einzelne Absorptionslinien im farbigen Spektrum sichtbar sind, die auch in der Aufnahme mit dem Clearfilter zu finden sind, kann ich die beiden Spektren (Abbildung 3 und 4) untereinander legen, sodass die *jeweiligen Spektrallinien in beiden Spektren denselben Abstand zueinander* haben. Das verhindert, dass Streckungsfehler auftreten. Nun ist die ungefähre Bestimmung der Wellenlängen, durch Extrapolieren der Wellenlängen von bekannten Werten, auf denen sich die Absorptionslinien befinden, möglich geworden. Die Positionen der Linien im Spektrum sind somit ungefähr bestimmt.

Der nächste Schritt ist das Zuordnen der Linien zu den verschiedenen Elementen mithilfe von Vergleichsliteratur, wie zum Beispiel JASCHEK & JASCHEK (1987), sowie gute Internetquellen nach Empfehlung von Vadim Burwitz vom Max-Planck-Institut.

Die Auswertung der heissen Sterne (Spektralklasse O bis F) stellten keine grösseren Probleme dar. Bei ihnen sind die Wasserstofflinien klar erkennbar und die Skala konnte schnell festgelegt werden. Sobald die späteren Spektralklassen betrachtet wurden, bemerkte ich dass dort viel mehr Linien zu sehen waren und eine Skalierung zuerst unmöglich erschien. Beim Vergleich von allen Spektren miteinander wurde festgestellt, dass mehrere Linien, nämlich bei $\lambda=7600\text{\AA}$ und $\lambda=6880\text{\AA}$ immer dasselbe Muster ergaben. Diese Beobachtung ermöglichte es, auch für kältere (z.B. Shedir, Alamat) und verschwommenere (z.B. Deneb und Arkturus) Sternspektren durch nachträgliches Extrapolieren, eine Skala anzufertigen.

Abbildung 3:
Spektrum mit Clearfilter.



Abbildung 4:
Spektrum mit 3 verschiedenen Farbfiltern lassen unterschiedliche Wellenlängen hindurchtreten.
Blau: 3750Å – 5150Å, Grün: 4800Å – 5880Å, Rot: 6100Å – 6780Å.

Total untersuchte Sterne: Alamak, Albireo, Algol, Antaris, Arcturus, Capella, Caph, Deneb, Ksora, Mirafak, Shedir, Sirrah, Vega
Zwei Sterne werden genauer beschrieben.

5. Vega

Vega ist ein klassischer A0 Stern. Die gut erkennbaren Linien sind klar von Wasserstoffatomen erzeugt (Abbildung 6). Von links her betrachtet wird der Abstand zwischen zwei Wasserstofflinien immer um ein Vielfaches verkürzt. Da es im Diagramm des Spektrums von energiearm (rot) nach energiereich (blau) geht, kann die Wellenlänge als Energieniveau betrachtet werden. Die Wasserstofflinien stehen für die Energieniveaus der Elektronen. Nun kann die Aussage gemacht werden, dass vom Zustand H β nach H γ mehr Energie benötigt wird ($\Delta\lambda=521\text{\AA}$) als der Quantensprung von H γ nach H δ ($\Delta\lambda=239\text{\AA}$) usw. (Abbildung 5). Das Diagramm veranschaulicht die verschiedenen Energiediffe-

renzen beim nächstmöglichen Quantensprung. Die erste Energiedifferenz ist am höchsten, weil dieser Zustandswechsel am energieaufwendigsten ist. Mit zunehmender Distanz zum Kern, werden die Elektronen instabiler und es wird weniger Energie benötigt um auf das nächstmögliche Niveau zu gelangen (siehe Kapitel 2.1 Spektrallinien).

6. Sirrah

Dieser Stern wird mit Spektralklasse B9 bezeichnet und gehört deshalb einer älteren Spektralklasse an. Die neutralen Heliumlinien sind bereits bei dieser Klasse schwach erkennbar. Sie erreichen ihr Maximum bei der Unterkategorie B2. Diese neutralen Heliumlinien verhalten sich ähnlich wie die Balmerlinien. Sie entstehen durch Absorption von Energie aus dem zweiten atomaren Energieniveau (= 2. Schale). Mit zunehmender Temperatur erscheinen bereits bei B0 die ersten He II Linien, was nun ionisierten He-

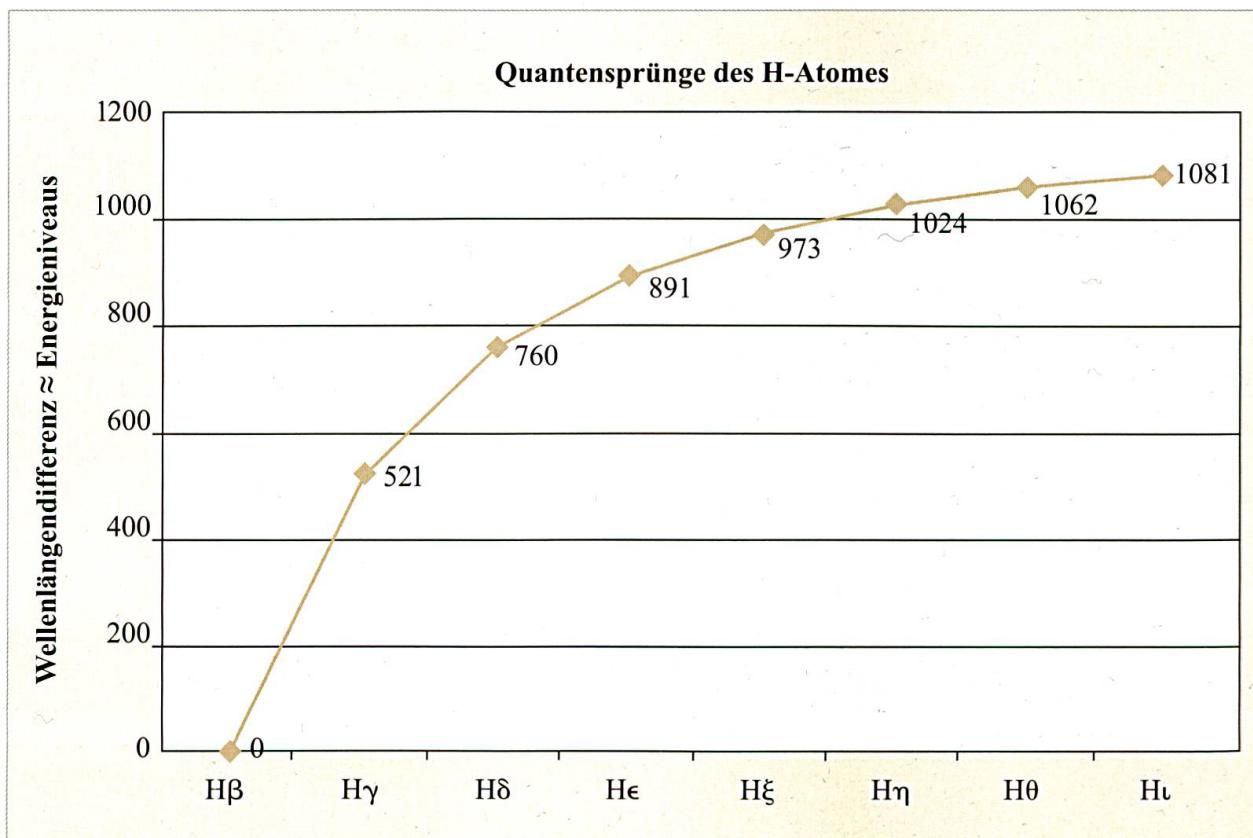


Abbildung 5:

Mit zunehmender Distanz zum Atomkern, benötigt das Elektron pro Schalenwechsel immer weniger Energie. Dies ist mit der Abflachung der Kurve zu erkennen.

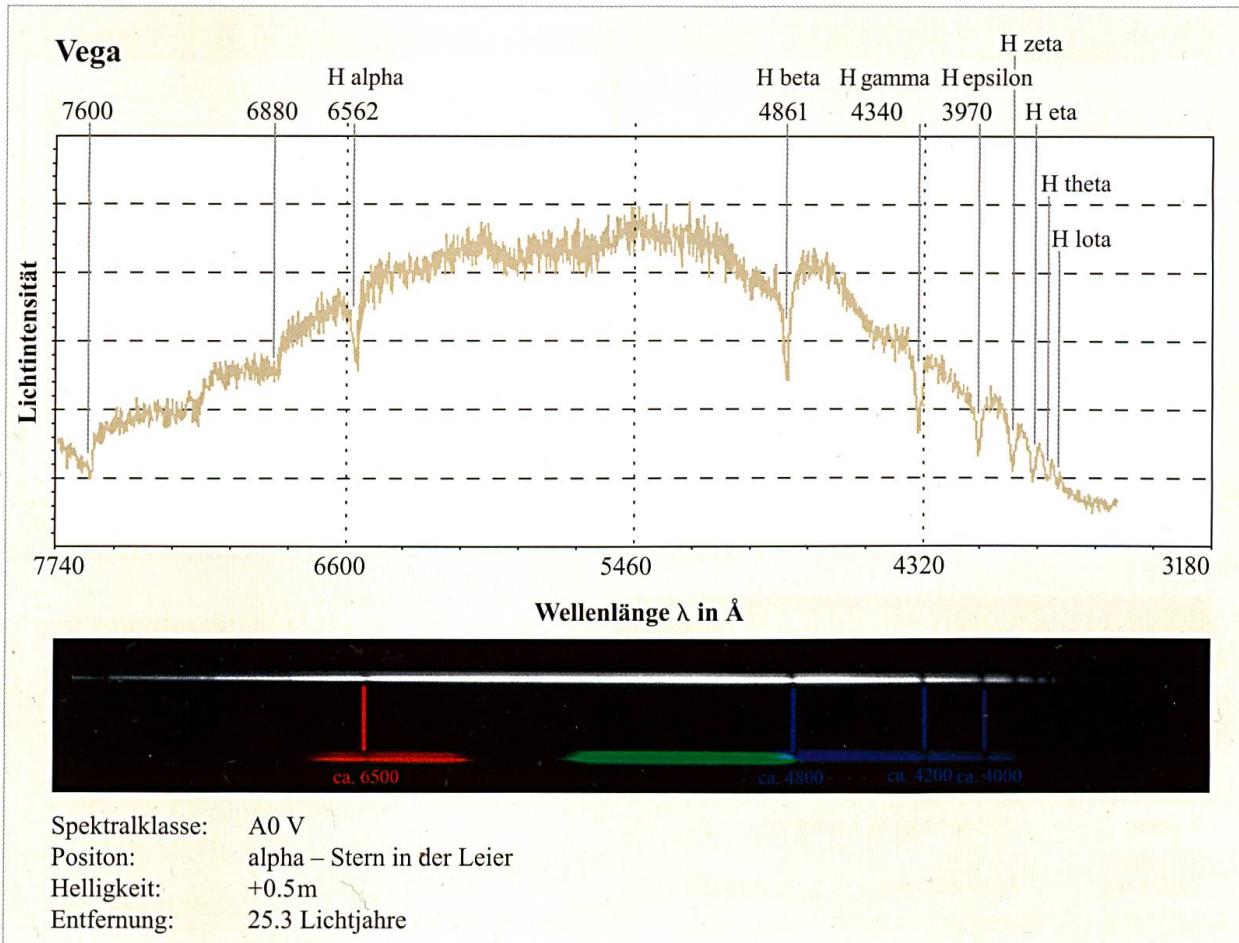


Abbildung 6:
 Spektrallinien und deren
 Messung vom Stern Vega.

liumatom entspricht. Leider reicht die Temperatur von Sirrah noch nicht aus, um ionisierte Heliumlinien auszubilden.

Diese Messung zeigt ein sehr unklares Spektrum. Es war nicht möglich, irgendwelche Linien zu bestimmen, oder eine Skala mit den entsprechenden Wellenlängen festzulegen. Das Vergleichsspektrum (siehe Abbildung 7) weist viel weniger Linien auf, als meine Messung. Die Aufnahme wurde gemacht, als Sirrah knapp über dem Horizont stand. Das heisst, dass durch sehr viel Luft (zwischen Weltall und Sternwarte) spektroskopiert wurde. Man vermutet, dass diese Luft zusätzliche Spektrallinien verursacht. Wenn dies der Fall wäre, dann müsste die Luft auch andere Messungen beeinflusst haben. Die Messungen der anderen Sterne sind in Ordnung.

Es könnte derselbe Effekt sein, wie der der Abendsonne. Die dicke Luftsicht absorbiert kurzwellige Strahlen, sodass beinahe nur noch die langwelligen, roten Strahlen hindurchtreten (=Rayleigh-Streuung). Wenn das farbige Spektrum von Sirrah betrachtet wird, fällt auf, dass der blaue Anteil sehr gering ist, was diese Theorie belegt. Es ist also nur ein Teil des gesamten Spektrums sichtbar, der hier sehr hochauflösend zu erkennen ist. Die Absorptionslinien von Sirrah sind in meiner Messung sehr dicht aufeinander, aber leider unbrauchbar für eine korrekte Auswertung.

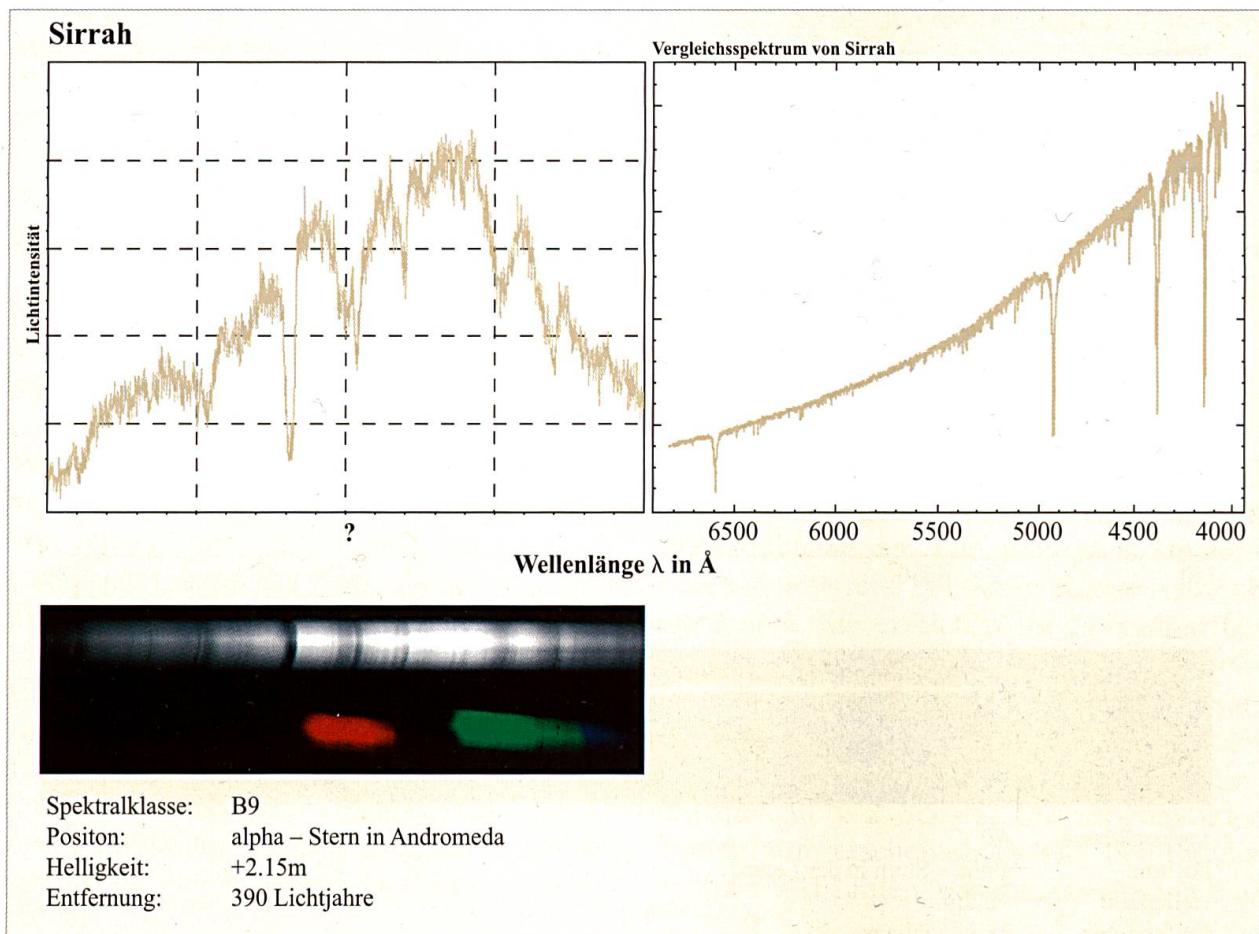


Abbildung 7:
 Spektrallinien und deren Messung vom Stern
 Sirrah

Vergleichsspektrum von Sirrah, Quelle:
<http://atlas.obs-hp.fr/elodie/E.cgi?c=i&z=vs&o=elodie:20000128/0005>.

7. Schlussbemerkungen

Das Ziel, Spektrallinien im Sternenlicht nachzuweisen, ist mir gelungen. Ich hätte zuerst nicht gedacht, dass dies mit meinem Spektrographen (Abbildung 2) so gut gelingen würde. Ich konnte meine Messungen miteinander vergleichen und Gemeinsamkeiten feststellen. Die meisten Literaturwerte stimmten mit meinen Messungen überein. Vor allem bei den heisseren Sternen habe ich sehr gute Resultate erzielt. Die Spektralanalyse ist hochinteressant und für die Wissenschaft sehr wichtig.

Literaturverzeichnis

- JASCHEK, C. & JASCHEK, M. (1987): The Classification of Stars, Cambridge
- KALER J. B. (1994): Sterne und ihre Spektren.
 –Astronomische Signale aus Licht, Heidelberg