S E M I N A R A R B E I T

Rahmenthema des Wissenschaftspropädeutischen Seminars:
Astronomie
Leitfach: *Physik*

Thema der Arbeit:

Analyse von Sternspektren am Beispiel der Sonne

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

1 Einleitung ... 7

1.1 Bedeutsamkeit der Spektroskopie ... 7

1.2 Aufbau der Arbeit ... 8

2 Theoretischer Hintergrund der Spektralanalyse ... 10

2.1 Physikalische Natur des Lichts ... 10

2.1.1 Welle-Teilchen-Dualismus ... 10

2.1.2 Zerlegung eines Lichtstrahls in seine Wellenlängen ... 12

2.2 Spektren ... 15

2.2.1 Kontinuierliches Spektrum ... 15

2.2.2 Emissionsspektrum ... 15

2.2.3 Absorptionsspektrum ... 17

2.3 Auswertung ... 17

2.3.1 Ermittlung der chemischen Zusammensetzung ... 17

2.3.2 Ermittlung der Temperatur des Sterns ... 18

2.3.3 Einordnung in die Spektralklassen ... 19

3 Praktische Durchführung der Spektralanalyse ... 21

3.1 Versuchsaufbau ... 21

3.1.1 Versuchsanordnung ... 21

3.1.2 Verwendete Geräte und Software ... 22

3.1.2.1 Teleskop ... 22

3.1.2.2 Lichtwellenleiter ... 23
3.1.2.3 Spektrograph ... 23
3.1.2.4 CCD-Detektor ... 25
3.1.2.5 Steuereinheit ... 26
3.1.2.6 Computer ... 26
3.2 Versuchsdurchführung ... 26
3.2.1 Justierung ... 27
3.2.2 Kalibrierung ... 27
3.2.3 Aufnahme des Sonnenspektrums ... 29
3.2.4 Aufbereitung eines weiteren Sonnenspektrums ohne Neonspektrum ... 31
3.3 Versuchsauswertung ... 33
3.3.1 Chemische Zusammensetzung ... 33
3.3.2 Temperaturermittlung und Spektralklassifikation ... 34
4 Abschließende Betrachtung ... 35
4.1 Fazit ... 35
4.2 Diskussion und Ausblick ... 35
5 Literaturverzeichnis ... 37
6 Erklärung ... 40
Danksagung

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Aussendung eines Photons 10

Abb. 2: Elektromagnetische Welle 11

Abb. 3: Dispersion an einem Prisma 12

Abb. 4: Interferenz an einem Doppelspalt 13

Abb. 5: Interferenz und Reflexion an einem Blazegitter 14

Abb. 6: Kontinuierliches Spektrum 15

Abb. 7: Entstehung der Emissionslinien bei Wasserstoff 16

Abb. 8: Emissionsspektrum mit Wasserstofflinien und Natriumlinie 16

Abb. 9: Absorptionsspektrum der Sonne 17

Abb. 10: Schema zur Analyse eines Absorptionsspektrums 18

Abb. 11: Harvard-Spektralklassifikation 20

Abb. 12: Geräteübersicht 21

Abb. 13: Montiertes Linsenteleskop 22

Abb. 14: Projektionseinheit am Okular 22

Abb. 15: Lichtwellenleiter der Firma Nexans 23

Abb. 16: Innenleben des Spektrographen 23

Abb. 17: Optisches Gitter mit Stellschraube 24

Abb. 18: Hohlspiegel 24

Abb. 19: Schematischer Czerny-Turner-Aufbau 25

Abb. 20: CCD-Detektor 25

Abb. 21: Steuerbox und Netzgerät 26

Abb. 22: Justierung des Gitters mit einem Laser 27

Abb. 23: Gespiegeltes Neonspektrum im Programm IRIS 28

Abb. 24: Weiter bearbeitetes Neonspektrum im Progamm IRIS 28

Abb. 25: Unkalibriertes Profil von Neon im Programm Vspec 29

Abb. 26: Kalibriertes Neonspektrum im Programm Vspec in Å 29

Abb. 27: Gespiegeltes Sonnenspektrum im Programm IRIS 30

Abb. 28: Weiter bearbeitetes Sonnenspektrum im Programm IRIS 30

Abb. 29: Kalibriertes Sonnenspektrum und Neonspektrum im Programm Vspec..... 30

Abb. 30: Gespiegeltes Sonnenspektrum im Programm IRIS 31

Abb. 31: Weiter bearbeitetes Sonnenspektrum im Programm IRIS 32

Abb. 32: Unkalibriertes Profil der Sonne im Programm Vspec..... 32

Abb. 33: Kalibriertes Sonnenspektrum im Programm Vspec 32

Abb. 34: Sonnenspektrum mit gelber Schwefellinie und grüner Sauerstofflinie im Programm Vspec..... 33

Abb. 35: Sonnenspektrum mit gelber Sauerstoffbande, blauen Sauerstofflinien, orangen Kobaltlinien und grüner Magnesiumlinie..... 34

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
d. h.	das heißt
et. al.	und andere
f.	und folgende Seite
ff.	und folgende Seiten
Hrsg.	Herausgeber
o. J.	ohne Jahresangabe
o. O.	ohne Ortsangabe
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel

1 Einleitung

Um den Einstieg in den Themenkomplex der Sternspektroskopie zu erleichtern, erfolgt zunächst eine Hinführung an den Begriff der Spektroskopie. Der darauffolgende Punkt vermittelt einen Überblick über den Aufbau der vorliegenden Facharbeit.

1.1 Bedeutsamkeit der Spektroskopie

Seit die Menschen begonnen haben, das Weltall zu erforschen, stellen sie sich immer wieder die Frage, ob es außer der Erde noch Planeten gibt, auf denen intelligentes Leben existieren kann. Seit der Erkundung unseres Sonnensystems steht allerdings fest, dass dessen Planeten aufgrund ihrer lebensfeindlichen Bedingungen hiervon ausgeschlossen sind. Folglich machen sich Forscher mit immer leistungsstärkeren Teleskopen nach erdähnlichen Planeten, sogenannten Exoplaneten, außerhalb unseres Sonnensystems auf die Suche. Seit 1995 wurden über 400 Exoplaneten entdeckt, die die notwendigen Voraussetzungen jedoch nicht erfüllen konnten, weil sie sich entweder als Gasplaneten erwiesen haben, oder aber, wie im Fall des Gesteinsplaneten Corot 7b, zu nah um ihre eigene Sonne kreisten. Durch den Einsatz immer präziser werdender Geräte und leistungsfähigerer Programme bei der Suche steigt die Zahl der gefundenen Exoplaneten progressiv. Die wichtigste Methode zur Entdeckung und Erforschung von Exoplaneten ist die Spektroskopie (vgl. Quarks & Co. 2010).

Die Astronomie macht sich bei der Spektroskopie die Wechselwirkungen zwischen Materie und elektromagnetischer Strahlung zunutze und gewinnt so aus dem erzeugten Spektrum Informationen über die chemischen und physikalischen Zustände des Sterns, wie z. B. die stoffliche Zusammensetzung der Sternatmosphäre, die Oberflächentemperatur und darüber hinaus auch sterneigene Planeten, die sich in periodischen Abständen vor ihren Stern schieben und diesen teilweise verdunkeln. Abgesehen vom Fachgebiet der Astronomie wird die Spektroskopie auch in anderen wissenschaftlichen Disziplinen angewandt. So verwendet man z. B. in der Chemie die Kernresonanzspektroskopie für die Strukturaufklärung unbekannter Stoffzusammensetzungen (vgl. Mortimer, Müller 2003, 196 ff.) und in der Medizin die Kernspin-Spektroskopie zur Identifikation tumorartiger Gewebe (vgl. Desnoux o. J.). Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung des Sonnenspektrums und somit die Anwendung der Spektroskopie auf dem Gebiet der Astronomie.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die Darstellung der vorliegenden Facharbeit, beginnend mit der Bedeutsamkeit der Spektroskopie, gefolgt vom theoretischen Hintergrund der Spektralanalyse bis hin zur praktischen Durchführung mit Auswertung eines selbst erstellten Sonnenspektrums einschließlich der Schlussfolgerung, gliedert sich in drei Kapitel. Nach der Einleitung befasst sich das zweite Kapitel mit der Theorie der Spektren, insbesondere mit der Physik des Lichts, das als Dreh- und Angelpunkt im Zentrum der Spektroskopie steht. So werden zunächst die beiden Modelle des Lichts, das Wellen- und das Teilchenmodell, als Voraussetzung für das Verständnis der späteren Spektrenentstehung vorgestellt und darauf aufbauend die Möglichkeiten der wellenlängenabhängigen Auffächerung eines Lichtstrahls in sein Spektrum aufgezeigt, indem auf die Dispersion an einem Prisma sowie die Interferenz am Gitter eingegangen wird. Im Anschluss daran werden die drei möglichen Arten von Spektren erklärt, wobei jeweils kurz auf ihre Entstehung mit dem Energiestufenmodell Bezug genommen wird. Die eigentliche Analyse eines Spektrums rundet das zweite Kapitel ab. So lassen sich aus einem Spektrum verschiedene Informationen über den Stern gewinnen, unter anderem die in der Sternatmosphäre vorhandenen Elemente, die Oberflächentemperatur und die Spektralklasse, mit der weitere Informationen über den spektroskopierten Stern bezogen werden können.

Das dritte Kapitel befasst sich mit den verwendeten Geräten, der Aufnahme und der Auswertung eines Sonnenspektrums. Im Hinblick auf die verwendeten Geräte wird zunächst auf den Versuchsaufbau eingegangen, wobei eine Skizze einen Gesamtüberblick über die Anordnung der Komponenten verschafft, die nachfolgend näher erläutert werden. Im Zusammenhang mit der Aufnahme des Spektrums werden die hierfür notwendigen Teilschritte, nämlich die Justierung des Spektrographen, die Kalibrierung mit einer Neonlampe und die Aufnahme des Sonnenlichts beschrieben. Im Hinblick auf die Auswertung des bei der Durchführung gewonnenen Spektrums werden mithilfe des Programmes Vspec wichtige Elemente der Sonne identifiziert, die Oberflächentemperatur mithilfe der indirekten Methode der Temperaturermittlung festgestellt und, davon ausgehend, die Sonne in eine Spektralklasse eingeordnet.

In der abschließenden Betrachtung erfolgt eine Auseinandersetzung mit dem Thema der Spektroskopie. Für die Bearbeitung des Themas wurde aufbauend auf einer vorangegangenen Literaturrecherche eine praktische Durchführung der Spektralanalyse vollzogen. Hier ist anzumerken, dass zum Themenkomplex der Spektroskopie für deren grundlegendes Verständnis nur wenig durchgehende Literatur auf gymnasialem Niveau vorzufinden war. Des Weiteren gestaltete sich der Umgang mit den zur Durch- und Ausführung erforderlichen Programmen

Vspec und PictorView schwieriger, weil diese vorzugsweise in englischer und französischer Sprache vorliegen.

2 Theoretischer Hintergrund der Spektralanalyse

Um bei einer praktischen Durchführung der Spektralanalyse die einzelnen Schritte nachvollziehen zu können, ist es wichtig, den theoretischen Hintergrund der Spektroskopie zu verstehen. Dieser wird in den folgenden Abschnitten aufgezeigt.

2.1 Physikalische Natur des Lichts

Weil einzig Licht uns Zugang zur physikalischen und chemischen Natur der Sterne verschafft, lohnt es sich, zunächst einen intensiveren Blick auf dieses Medium zu werfen und der Frage nachzugehen, was Licht eigentlich ist.

2.1.1 Welle-Teilchen-Dualismus

Nach wie vor gibt es keine physikalische Darstellungsform, die das Verhalten von Licht alleine exakt wiedergibt, sondern vielmehr nähert sich die Physik mit mehreren gleichwertigen Modellen, die jeweils bestimmte Eigenschaften von Licht berücksichtigen, der tatsächlichen Natur von Licht an (vgl. Gau et. al. 2008, 149).

Beim Teilchenmodell wird Licht als ein Teilchenstrom aus masselosen Teilchen, den sogenannten Photonen bzw. Lichtquanten, aufgefasst, die jeweils eine bestimmte Energie tragen und sich mit Lichtgeschwindigkeit geradlinig im Raum ausbreiten (vgl. Hermann-Rottmair et. al. 2010, 8). Sie entstehen, wenn ein Elektron in der Elektronenhülle eines Atoms von einem höheren Energieniveau auf ein niedrigeres wechselt, indem es ein Lichtquant mit der Energieportion, die der Differenz der Energieniveaus entspricht, aussendet (vgl. Gau et. al. 2007, 67).

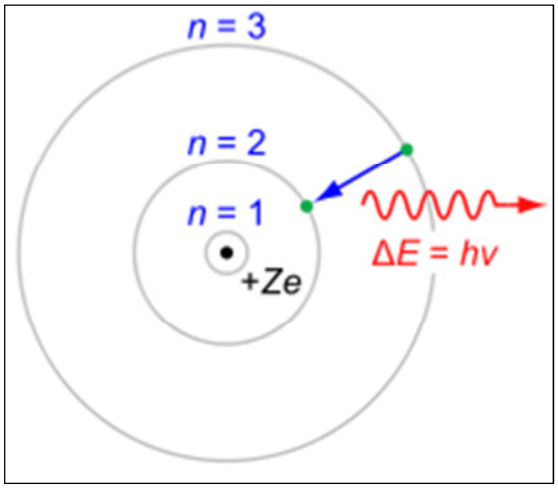

Abb. 1: Aussendung eines Photons (Quelle: Wikipedia 2007)

Das Wellenmodell hingegen geht von der Vorstellung aus, dass Licht sich wie eine elektromagnetische Welle verhält, indem es sich durch sich gegenseitig induzierende elektrische und magnetische Felder mit Lichtgeschwindigkeit als elektromagnetische Welle im Raum ausbreitet und dabei Energie transportiert. Diesen Schwingungscharakter kann man mit folgenden Parametern beschreiben (vgl. Hermann-Rottmair et. al. 2009, 156 ff.):

- Ausbreitungsgeschwindigkeit c = 300 000 km/s,
- Frequenz f in Hertz, die die Anzahl an Schwingungen pro Sekunde beschreibt,
- Wellenlänge λ in nm bzw. Å (1 Å = 0,1 nm), die den Abstand zwischen zwei Wellenbergen bzw. Wellentälern angibt.

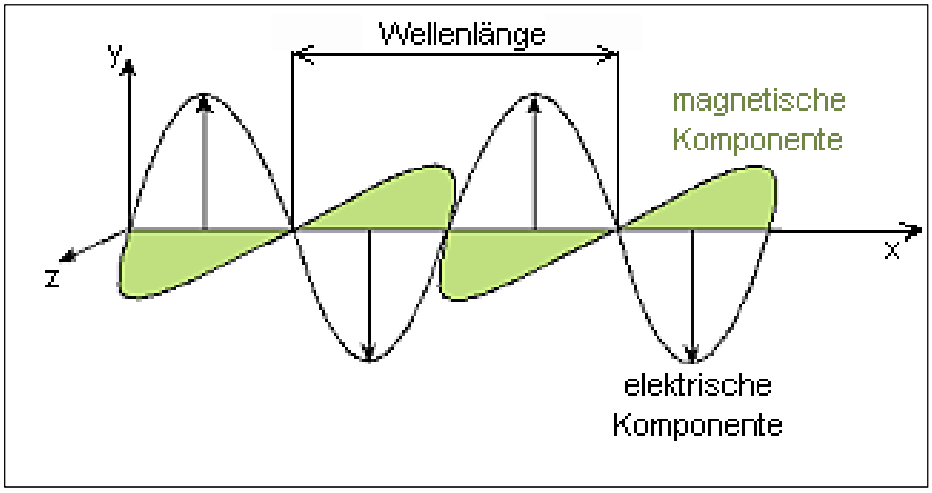

Abb. 2: Elektromagnetische Welle (Quelle: IGTE TU-Graz 1997)

Diese vorgenannten Größen hängen über folgende Gleichung zusammen:

$$c = \lambda \cdot f$$

Grundsätzlich reicht der Wellenlängenbereich von elektromagnetischen Wellen und damit auch von Licht von sehr energiereicher, kurzwelliger Gammastrahlung mit $\lambda \leq 10^{-11}$ m bis zur energieärmeren und damit langwelligeren Radiostrahlung mit $\lambda \geq 10^{-1}$ m (vgl. Hermann-Rottmair et. al. 2008, 176). Der für das menschliche Auge sichtbare Bereich umfasst jedoch nur Wellenlängen mit 380 nm $\leq \lambda \leq$ 780 nm, das sogenannte optische Spektrum, welches uns farbig erscheint, während die übrigen Abschnitte des elektromagnetischen Spektrums für unser Auge unsichtbar sind (vgl. Hefner et. al. 2009, 33).

Beide Modelle spiegeln jedoch nur einen Teil der Realität wieder, da sich Licht weder als reiner Teilchenstrom noch als bloße Welle verhält, sondern vielmehr beide Eigenschaften

gleichzeitig aufweist und in sich vereint, indem es als Welle einer bestimmten Frequenz f bzw. Wellenlänge λ seine Energie in Portionen gequantelt überträgt. Die Größe dieser Energieportionen berechnet sich mithilfe der Formel:

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

mit $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J·s als plancksches Wirkungsquantum (vgl. Hermann-Rottmair et. al. 2010, 11 f.).

Man spricht bei diesem Phänomen vom sogenannten Welle-Teilchen-Dualismus des Lichts. In der Physik bedient man sich zur Beschreibung von Licht abhängig von der Situation und dem zu betonenden Aspekt eines der beiden Modelle, jedoch immer vor dem Hintergrund, dass dies nur eine Vereinfachung des wirklichen Verhaltens von Licht darstellt (vgl. Franz-Oberthuer-Schule o. J.).

2.1.2 Zerlegung eines Lichtstrahls in seine Wellenlängen

Ein Lichtstrahl, der alle Wellenlängen des optischen Spektrums aufweist, erscheint unserem Auge weiß, tatsächlich handelt es sich jedoch um ein Bündel von Wellenlängen, von denen eine einzelne Wellenlänge für sich einer bestimmten Farbe zugeordnet werden kann. Um dieses Licht nun in seine Wellenlängen zu zerlegen, macht man sich bestimmte physikalische Eigenschaften von Licht zu Nutze.

So werden bei einem Prisma die Wellenlängen des Lichts unterschiedlich stark gebrochen, sodass blaues Licht beim Übergang von Luft in Glas stärker gebrochen wird als rotes Licht, was als Dispersion bezeichnet wird. Dies zeigt sich in der anschließenden Auffächerung des Lichtstrahls und der Entstehung eines farbigen Spektrums am Schirm. Hierbei besteht allerdings das Problem der nicht-linearen Auffächerung der Wellenlängen, was bei der späteren Auswertung von Spektren zu Komplikationen führen kann (vgl. Spectrosphere o. J.).

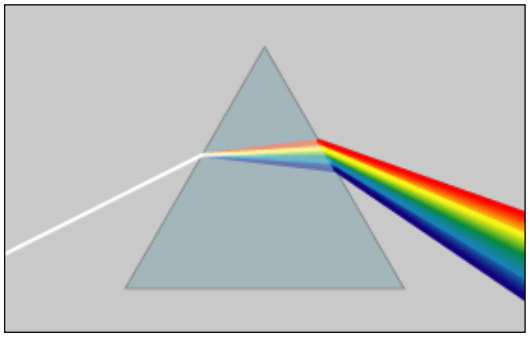

Abb. 3: Dispersion an einem Prisma (Quelle: Timble Medientechnik Emden o. J.)

Eine weitere Möglichkeit der Auffächerung eines Lichtstrahls, bei der dieses Problem nicht besteht, ist die Interferenz am optischen Gitter. Hier unterscheidet man zwischen Reflexionsgittern, welche den einfallenden Lichtstrahl an ihrer metallbeschichteten, eingekerbten Oberfläche reflektieren, und Transmissionsgittern, die das Licht durch feine Rillen, die als Spalte fungieren, durchlassen. Die Funktionsweise des Gitters soll nun am Beispiel eines Transmissionsgitters erklärt werden. Zunächst wird der einfallende Lichtstrahl an den Spalten gebeugt, sodass nach dem huygensschen Prinzip Elementarwellen entstehen, die sich gegenseitig überlagern. Dabei kommt es bei der Überlagerung von zwei Wellenbergen bzw. Wellentälern zur sogenannte konstruktiven Interferenz, einer Verstärkung, die sich am Schirm als ein heller Lichtstreifen, ein Maximum bemerkbar macht. Die entstehenden Maxima werden ausgehend vom hellsten Maximum in der Mitte, dem Maximum 0. Ordnung, mit Nummern versehen. Eine Überlagerung von Wellenberg und Wellental hingegen führt zur sogenannten destruktiven Interferenz, einer Auslöschung. Diese ist am Schirm als dunkler Abschnitt erkennbar (vgl. Gau et. al. 2008, 144 ff.). Hierbei gilt, dass unterschiedliche Wellenlängen unterschiedlich stark gebeugt werden, sodass sich innerhalb eines Maximums eine Auffächerung in die Spektralfarben feststellen lässt.

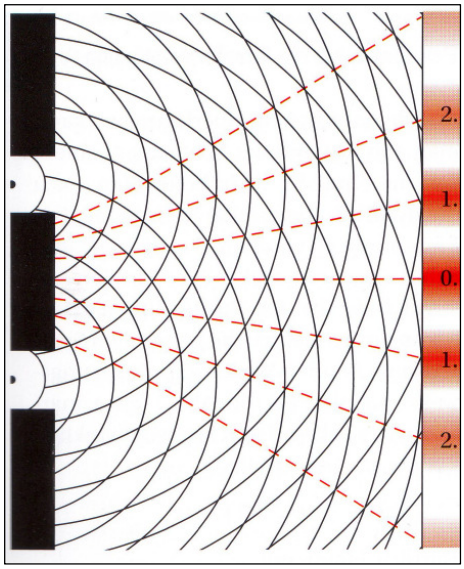

Abb. 4: Interferenz an einem Doppelspalt (Quelle: Gau et. al. 2008, 145)

Bei derartigen Transmissionsgittern wie auch bei Reflexionsgittern, die ebene Einkerbungen aufweisen, besteht jedoch das Problem der geringen Lichtausbeute. So wird der größte Teil des Lichts in das Maximum 0. Ordnung gestrahlt, welches für die anschließende Spektralanalyse wertlos ist, sowie auf zahlreiche weitere Maxima verteilt, die dementsprechend lichtschwach ausfallen.

Um diesen Effekt zu verhindern, verwendet man Gitter mit einer speziellen Oberfläche, sogenannte Blazegitter, wie in Abbildung 5 schematisch dargestellt. Darunter sind Reflexionsgitter zu verstehen, bei denen die eingekerbten Flächen in einem bestimmten Winkel, dem Blazewinkel θ, schräg angeordnet sind. Dies hat zur Folge, dass der Großteil des einfallenden Lichts in ein bestimmtes Maximum reflektiert wird, sodass die Lichtausbeute hier dementsprechend hoch ist (vgl. Physik Uni Ulm 2002). Das in diesem Maximum entstehende Spektrum dient später als Ausgangspunkt für die eigentliche Spektralanalyse. Die hierbei auftretende Interferenz lässt sich schematisch an Abbildung 5 erklären. Zwei zueinander parallele Lichtstrahlen 1 und 2, in der Abbildung rot gezeichnet, treffen unter einem Winkel α zur Gitternormalen GN in den Punkten A und A' auf der Gitterfläche auf und werden unter dem Winkel β zur Gitternormalen reflektiert. Da Strahl 1 dabei zeitlich früher auf das Gitter fällt als Strahl 2, lässt sich zwischen den Lichtstrahlen eine Wegdifferenz feststellen, die als Gangunterschied △s bezeichnet wird und sich mit folgender Formel berechnen lässt:

$$\triangle s = |CA' - BA| = g \cdot |\sin\alpha \cdot \sin\beta|$$

g ist hierbei die Gitterkonstante.

Beugungsmaxima entstehen bei konstruktiver Interferenz, wenn zwei Wellenberge beziehungsweise Wellentäler aufeinander treffen, sodass für den Gangunterschied der folgende Zusammenhang gilt:

$$\triangle s = k \cdot \lambda$$

Abhängig vom Blazewinkel θ wird dabei der Großteil des Lichts in ein bestimmtes, von 0 verschiedenes Maximum reflektiert. Da die Größe des Winkels β wellenlängenabhängig ist, kommt es hierbei zur Auffächerung des Lichts in sein Spektrum (vgl. Lehrer-online 2009).

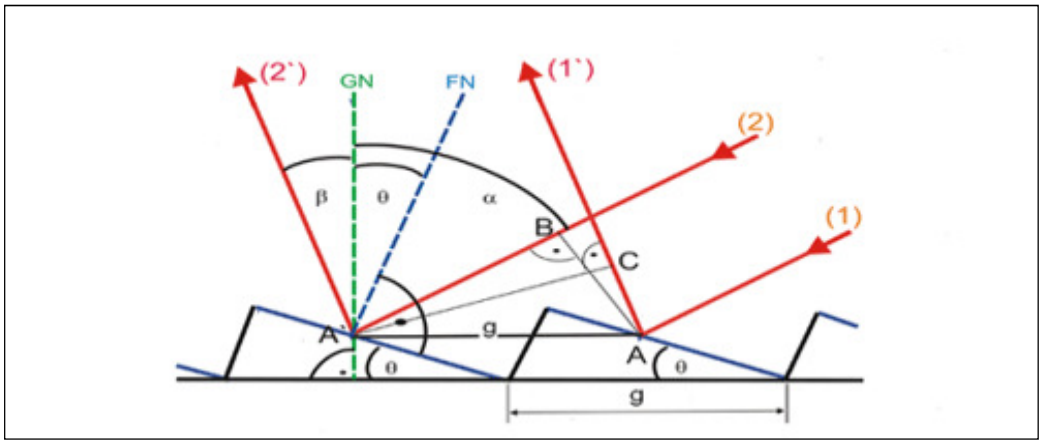

Abb. 5: Interferenz und Reflexion an einem Blazegitter (Quelle: Lehrer-online 2009)

2.2 Spektren

Vergleicht man Spektren unterschiedlicher Strahlungsquellen miteinander, so lassen sich im Aussehen der Spektren signifikante Unterschiede feststellen. So zeigt sich beispielsweise das Spektrum einer Glühbirne als kontinuierlich von Rot nach Blau übergehend, während das Spektrum von z. B. der Sonne noch zusätzlich an bestimmten Stellen im Spektrum schwarze Linien, die sogenannten Fraunhoferlinien, aufweist. Das Spektrum einer Natriumdampflampe hingegen ist komplett schwarz unterlegt und zeigt nur an einzelnen Stellen farbige Linien. Grundsätzlich existieren drei verschiedene Arten von Spektren: das kontinuierliche Spektrum wie z. B. das der Glühbirne, das Emissionsspektrum wie das der Natriumdampflampe sowie das Absorptionsspektrum wie das der Sonne.

2.2.1 Kontinuierliches Spektrum

Ein kontinuierliches Spektrum zeichnet sich durch das lückenlose ineinander Übergehen der einzelnen Spektralfarben zu einem durchgehenden Spektrum aus. Dieses enthält alle Wellenlängen des sichtbaren Spektrums. Es wird von einem sogenannten Schwarzen Körper ausgesandt, der jede elektromagnetische Strahlung absorbiert und aufgrund seiner thermischen Energie Strahlung jeder Wellenlänge in einer bestimmten spektralen Verteilung emittiert. Dies ist etwa bei einem glühenden Festkörper oder einem Gas unter hohem Druck der Fall (vgl. Roth 1981, 534).

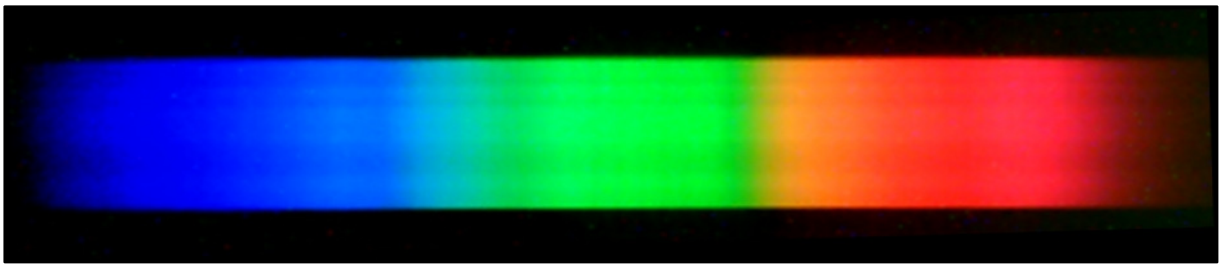

Abb. 6: Kontinuierliches Spektrum (Quelle: Uni Mainz 2007)

2.2.2 Emissionsspektrum

Emissionsspektren, die sich durch einzelne farbige Linien vor einem dunklen Hintergrund auszeichnen, werden von kalten Gasen unter niedrigem Druck ausgesandt. Zur Erklärung der Entstehung des Emissionsspektrums, wofür nun der Blick auf den submolekularen Bereich gerichtet werden muss, dient als einfachstes Beispiel das Wasserstoffatom.

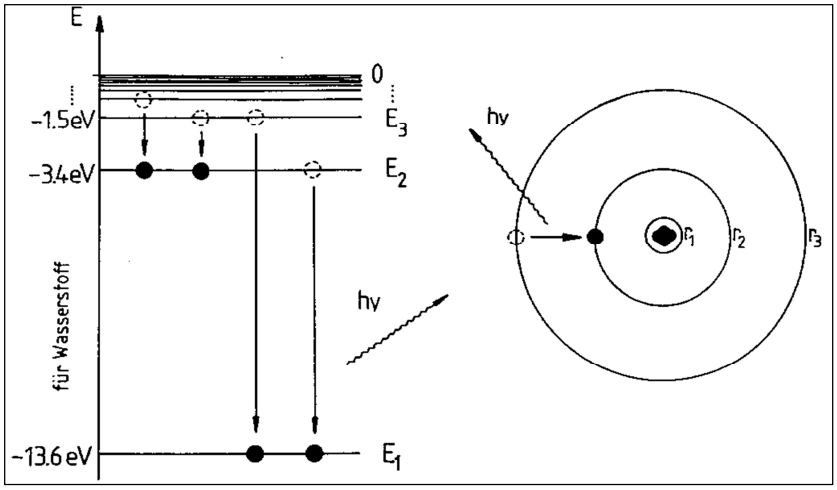

Abb. 7: Entstehung der Emissionslinien bei Wasserstoff (Quelle: Uni Basel o. J.)

Es besteht nur aus einem Proton und einem Elektron in der Elektronenhülle. Dieses Elektron, das sich auf verschiedenen Energieniveaus E_1 , E_2 usw. befinden kann und grundsätzlich den energieärmsten Zustand E_1, den Grundzustand, anstrebt, kann durch Energiezufuhr angeregt, also auf ein höheres Energieniveau gehoben werden. Nach kurzer Zeit fällt es wieder auf sein ursprüngliches niedrigeres Energieniveau zurück, wobei für jeden einzelnen Übergang von einem höheren auf ein niedrigeres Energieniveau ein Photon mit der entsprechenden Energiedifferenz ausgesandt wird. Da es in einem Wasserstoffatom bereits eine Vielzahl an Energieniveaus und dementsprechend möglichen Übergängen gibt, können Photonen mit verschiedenen Energieportionen geschickt werden, wobei jeder Energieportion bzw. Wellenlänge eine Emissionslinie am Schirm entspricht. Auch bezüglich anderer Elemente lässt sich bei den entsprechenden Atomen dieses Verhalten wiederfinden (vgl. Gau et. al. 2007, 67 f.). Allerdings weist jedes Element spezifische Energieniveaus mit entsprechenden Wellenlängen auf, sodass jedes Element, aber auch Molekül und Ion ein eigenes Emissionsspektrum hat, welches umgekehrt eindeutig auf dieses zurückgeführt werden kann.

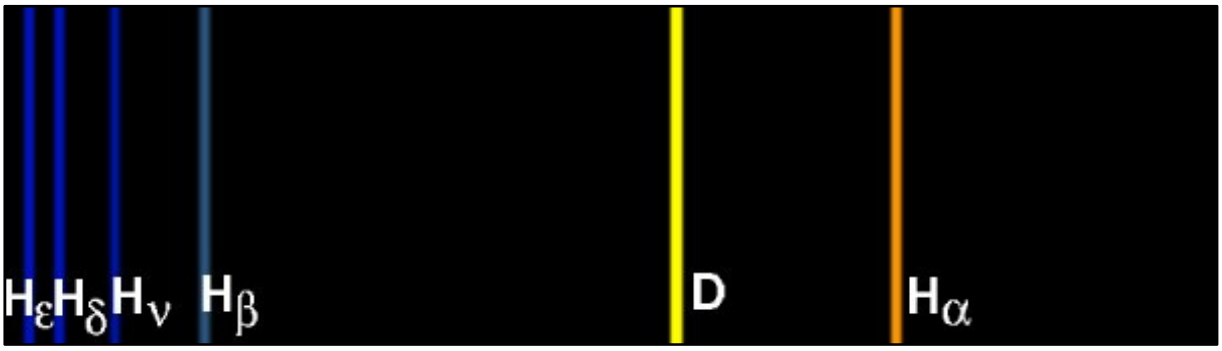

Abb. 8: Emissionsspektrum mit Wasserstofflinien (H) und Natriumlinie (D) (Quelle: AstroLex-Spektralanalyse 2000)

2.2.3 Absorptionsspektrum

Das Absorptionsspektrum, ein kontinuierliches Spektrum mit einzelnen schwarzen Linien, entsteht, wenn das Licht eines Schwarzen Körpers durch ein Gas strahlt, das unter niedrigem Druck steht. Von der kontinuierlichen Strahlung, die alle Wellenlängen und damit Photonen mit jeder möglichen Energieportion enthält, werden diejenigen Photonen absorbiert, die jene Energie tragen, die einer Differenz der Energieniveaus im Atom des Gases entspricht. Dieser Vorgang führt einerseits dazu, dass die übrigen Photonen des Lichts das Gas ungehindert passieren, andererseits werden die Elektronen des Gases durch die Absorption angeregt, wechseln kurz darauf wieder in den Grundzustand, wobei nun die dabei ausgesandten Photonen in alle Raumrichtungen emittiert werden. Demzufolge erscheinen im kontinuierlichen Spektrum der Lichtquelle dort schwarze Linien, wo die entsprechenden Wellenlängen durch das Gas absorbiert wurden, wobei die Lage der Absorptionslinien für das jeweilige Gas charakteristisch ist und folglich aus der Lage der Absorptionslinien auf die Zusammensetzung des Gases geschlossen werden kann (vgl. Kaler 1994, 59 ff.).

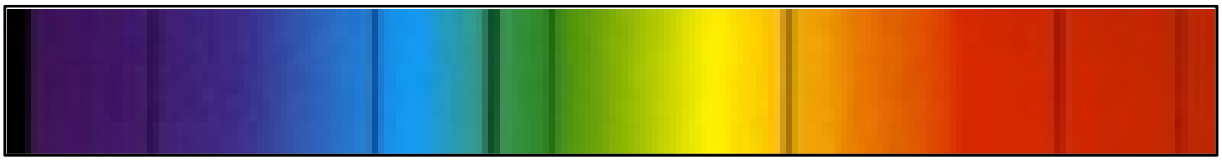

Abb. 9: Absorptionsspektrum der Sonne (Quelle: Sternfreunde Beelitz o. J.)

Grundsätzlich sind Sternspektren reine Absorptionsspektren, ausgenommen solche sehr heißer Sterne, die neben den Absorptionslinien noch zusätzlich Emissionslinien aufweisen.

2.3 Auswertung

Aus den Sternspektren lassen sich verschiedene Informationen über die chemischen und physikalischen Zustände der Strahlungsquelle gewinnen.

2.3.1 Ermittlung der chemischen Zusammensetzung

Den Absorptionslinien in einem Sternspektrum können die entsprechenden Elemente bzw. Moleküle zugeordnet werden, indem man deren Lage im Sternspektrum mit den Linien im Emissionsspektrum von vermuteten Elementen oder Molekülen vergleicht. Dadurch lassen sich Aussagen über das Vorhandensein eines Elements in der Sternatmosphäre machen. Diese Aussagen sind jedoch von qualitativer Natur und lassen keinen direkten Rückschluss auf die

Häufigkeit des Elements zu. So hängt die Stärke einer Absorptionslinie nicht nur von der Häufigkeit, sondern auch von anderen Größen, wie etwa der Temperatur oder auch der Druckverbreiterung durch zwei sich begegnende Atome, ab (vgl. Kaler 1994, 64).

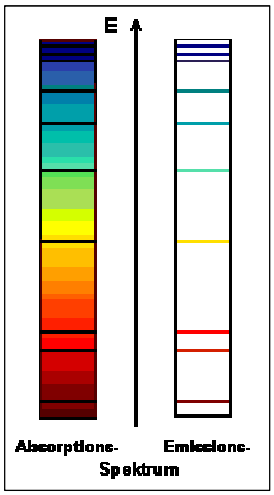

Abb. 10: Schema zur Analyse eines Absorptionsspektrums (Quelle: Elektroniktutor 2002)

2.3.2 Ermittlung der Temperatur des Sterns

Aus dem Sternspektrum lassen sich des Weiteren Rückschlüsse auf die Oberflächentemperatur des Sterns ziehen. Diese kann man zum einen mithilfe des Wienschen Verschiebungsgesetzes berechnen, das diejenige Wellenlänge angibt, bei der ein Schwarzen Körper abhängig von der Temperatur die größte Strahlungsleistung abgibt. (vgl. Roth 1981, 534 f.):

$$\lambda_{\max} = \frac{2.898\ mm \cdot K}{T}$$

Hierzu wird diejenige Wellenlänge des Spektrums in die nach der Temperatur aufgelöste Formel eingesetzt, bei der die Intensität am größten ist. Zum anderen kann die Oberflächentemperatur mithilfe der indirekten Methode aus dem Vorhandensein von Absorptionslinien bestimmter Atome, Ionen oder Moleküle sowie aus deren Linienstärke ermittelt werden. Dies beruht auf der Tatsache, dass die verschiedenen Elemente, Moleküle und Ionen bei jeweils bestimmten Temperaturen des Sterns ihre maximale Linienstärke erreichen, während sie in anderen Temperaturbereichen nicht sichtbar sind. Metalllinien beispielsweise treten erst ab einer Oberflächentemperatur von etwa 4 000 K im Spektrum auf, während Wasserstoff im sichtbaren Bereich seine intensivsten Absorptionslinien bei ca. 8 000 K bis 10 000 K aufweist (vgl. AstroLex-Spektralklassifikation, 2000).

2.3.3 Einordnung in die Spektralklassen

Da sich bei der Analyse vieler Sternspektren wenige, immer wiederkehrende Muster feststellen lassen, ordnet man in der Astronomie Sterne in sogenannte Spektralklassen ein, aus denen wiederum Eigenschaften der Sterne abgeleitet und Vergleiche zu anderen Sternen gezogen werden können. Eine wichtige Einteilung der Sterne stellt die Harvard-Klassifikation dar, bei der die Sterne nach Vorhandensein und Stärke bestimmter Linien in die Hauptklassen O, B, A, F, G, K, M eingeteilt werden, wobei jeder Spektralklasse eine bestimmte Oberflächentemperatur und Farbe zugeordnet wird.

Die O-Sterne sind die heißesten Sterne mit Oberflächentemperaturen von bis zu 50 000 K, weswegen sie am Himmel bläulich erscheinen. Sie gehören zu den massereichsten Sternen. Ihr Spektrum weist neben der Balmer-Serie des Wasserstoffs, also den sichtbaren Absorptionslinien des Wasserstoffs, und den Linien des ionisierten Heliums noch eine Vielzahl an Emissionslinien auf.

Die B-Sterne sind mit einer Temperatur von 10 000 K bis 30 000 K etwas kühler als die O-Sterne, sodass ihre Farbe ins Weiß übergeht. Sie machen den Großteil der hellen Sterne am Himmel aus. Bei ihnen werden zudem die Wasserstofflinien stärker.

Bei A-Sternen findet man die stärksten und auffälligsten Wasserstofflinien. Diese Sterne erscheinen nun wegen ihrer Oberflächentemperatur von ca. 8 000 K weiß.

Die G-Sterne mit einer Temperatur von 5 000 K bis 6 000 K und die F-Sterne mit einer etwas höheren Temperatur weisen eine Farbe von weißgelb bis gelb auf. Bei ihnen werden die H- und K-Linien des einfach ionisierten Kalziums auffälliger und zudem treten erste Molekülbanden und Metalllinien auf.

Bei K- und M-Sternen dominieren die Molekülbanden und Metalllinien, während die Balmer-Serie fast verschwunden ist. Die hier orangefarbenen bis roten Sterne weisen nur noch Temperaturen oberhalb 2 000 K auf.

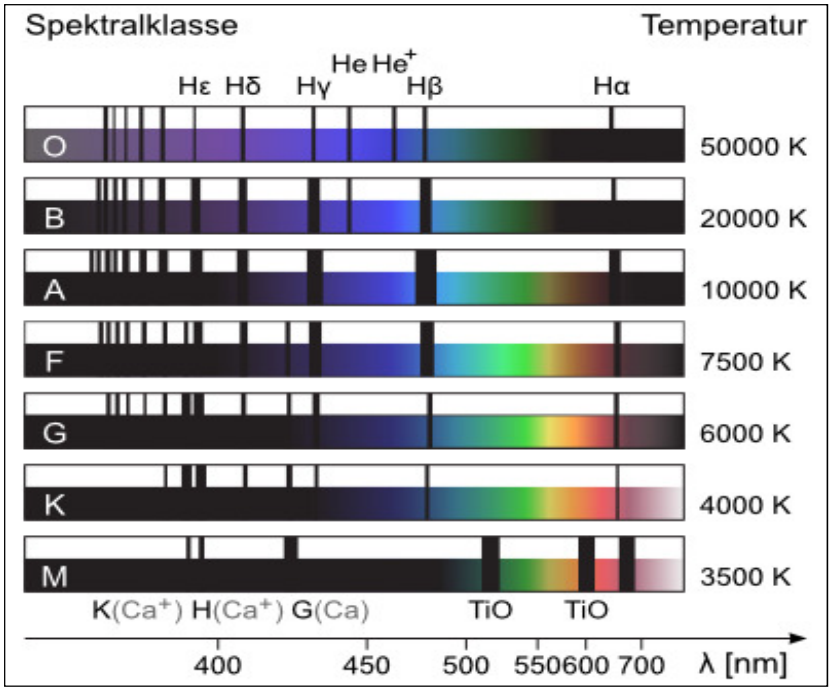

Abb. 11: Harvard-Spektralklassifikation (Quelle: Uni Göttingen 2006)

Die Spektralsequenz ist also von den hohen zu den tiefen Temperaturen geordnet. Hierbei zeigen sich bei den heißen Sternen noch Emissionslinien, wohingegen bei abnehmender Temperatur vor allem die Balmer-Serie des Wasserstoffs auftritt. Bei noch weiter sinkender Oberflächentemperatur der Sterne kommen die Linien verschiedener Metalle wie etwa Kalzium oder Eisen und bei tiefsten Temperaturen Molekülbanden wie die von Titanoxid zum Vorschein (vgl. Weigert, Wendker 1996, 90).

3 Praktische Durchführung der Spektralanalyse

Die bis jetzt gewonnenen, theoretischen Erkenntnisse über die Spektralanalyse von Sternen werden nun auf die Praxis übertragen, indem hier das Licht der Sonne, das uns tagtäglich zur Verfügung steht, spektroskopiert werden soll.

3.1 Versuchsaufbau

Die gesamte Anlage besteht aus einem Teleskop zur Fokussierung des Lichts, dem eigentlichen Spektrographen, der das Sonnenlicht auffächert und an den lichtempfindlichen CCD-Detektor leitet. Dieser wandelt die einzelnen Intensitäten der einfallenden Lichtstrahlen in elektrische Impulse um, die vom Computer ausgewertet werden können.

3.1.1 Versuchsanordnung

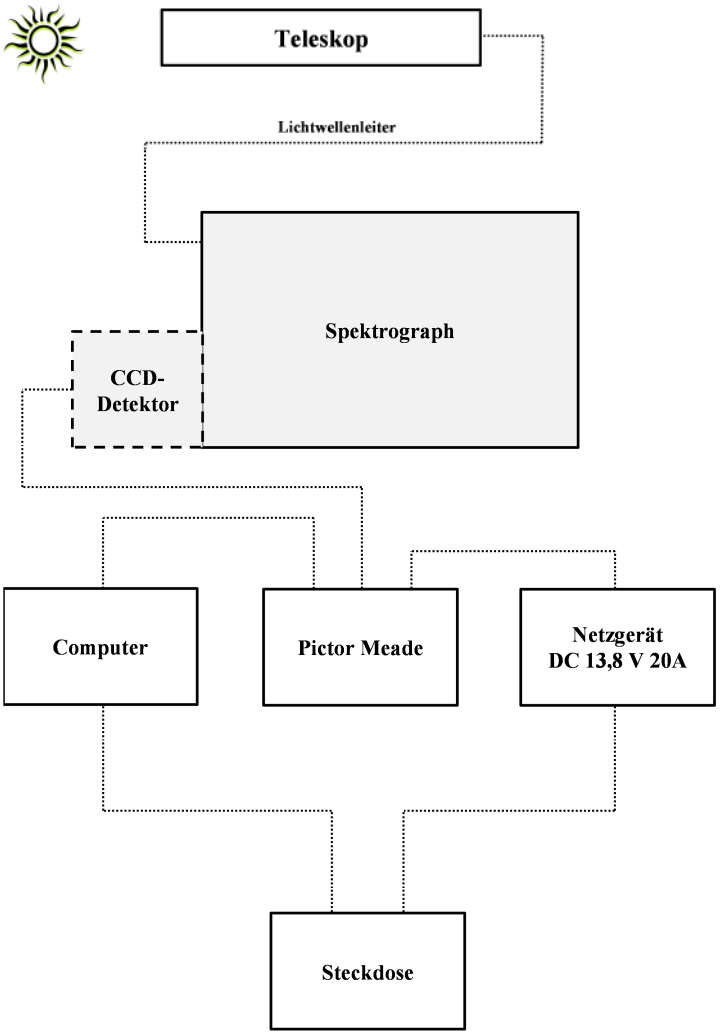

Abb. 12: Geräteübersicht (Quelle: eigene Darstellung 2011)

3.1.2 Verwendete Geräte und Software

Im folgenden Abschnitt werden die in der vorangegangenen Abbildung dargestellten Bestandteile der Anlage näher erläutert.

3.1.2.1 Teleskop

Als Teleskop wird ein einfaches Linsenteleskop der Marke SkyWatcher mit einer Brennweite von 900 mm verwendet, an dessen Okular eine nicht serienmäßige Projektionseinheit mit einer kleinen Öffnung zur Befestigung eines Lichtwellenleiters angebracht ist. Auf diese Öffnung wird der gewünschte Bereich der Sonne abgebildet.

Abb. 13: Montiertes Linsenteleskop (Quelle: Schanne, Sablowski 2011, 11)

Abb. 14: Projektionseinheit am Okular (Quelle: Schanne, Sablowski 2011, 12)

3.1.2.2 Lichtwellenleiter

Das Licht der Sonne fällt durch die Öffnung der Projektionseinheit in den dort befestigten Lichtwellenleiter, ein 30 m langes Glasfaserkabel mit einem Durchmesser von 60 µm der Firma Nexans. Das Licht wird im Lichtwellenleiter durch Totalreflexion in den Sonnenspektrographen geleitet, in den es durch einen 25 µm großen Spalt einfällt.

Abb. 15: Lichtwellenleiter der Firma Nexans (Quelle: eigenes Foto 2011)

3.1.2.3 Spektrograph

Der Spektrograph ist außen in eine Schachtel aus dünnem Aluminiumblech gekleidet und innen schwarz angestrichen, wobei der Deckel bei Bedarf geöffnet werden kann. An der Innenseite der Schachtel sind an einer dickeren Aluminiumplatte die Komponentenhalter, nämlich zwei Spiegelhalter mit Schrauben zur Einstellung für die beiden daran angebrachten Hohlspiegel sowie eine Halterung für das Reflexionsgitter mit einer Mikrometerschraube zur exakten Ausrichtung, und die Anschlüsse für den Lichtwellenleiter und der CCD-Kamera befestigt.

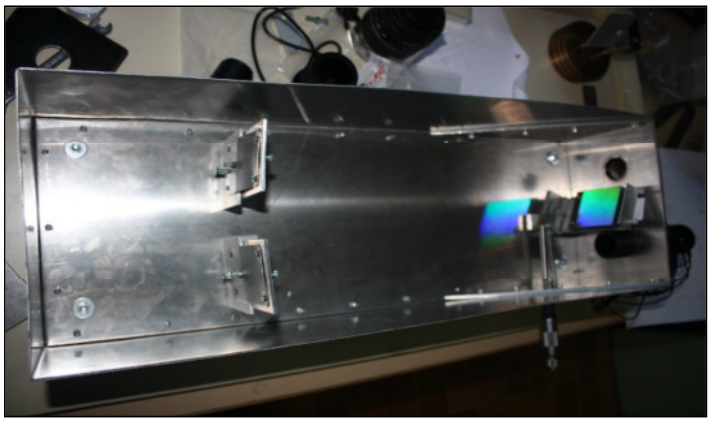

Abb. 16: Innenleben des Spektrographen (Quelle: Schanne, Sablowski 2011, 14)

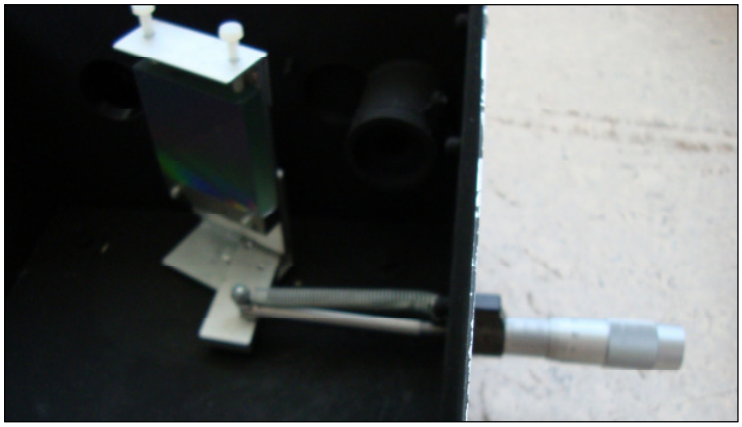

Abb. 17: Optisches Gitter mit Stellschraube (Quelle: eigenes Foto 2011)

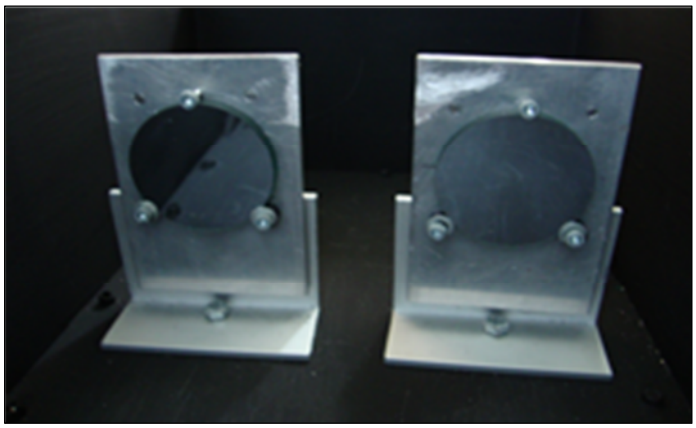

Abb. 18: Hohlspiegel (Quelle: eigenes Foto 2011)

Von seiner optischen Beschaffenheit ist der Sonnenspektrograph nach dem Czerny-Turner-Aufbau konstruiert, der in Abbildung 19 schematisch dargestellt ist. So fällt das eintretende Licht zunächst auf einen Kollimator M1, einen sphärischen Hohlspiegel, mit einem Durchmesser von 45 mm und einer Brennweite von 450 mm, in deren Brennpunkt sich der Lichtaustritt des Lichtwellenleiters befindet. Das ab hier parallel gerichtete Licht wird daraufhin auf ein Reflexionsgitter G gespiegelt. Hierbei handelt es sich um ein Blazegitter mit 1 200 L/mm und Ausmaßen von 50 mm × 50 mm, welches das Licht vorwiegend in das 1. Maximum reflektiert. Es spiegelt das nun aufgefächerte Licht auf einen weiteren Hohlspiegel derselben Bauart M2. Daraufhin fokussiert dieser das Licht an den an der Aluminiumwand angebrachten CCD-Detektor, wobei sich der CCD-Chip submillimetergenau im Brennpunkt des zweiten Hohlspiegels befindet. Durch Veränderung der Einstellung der Mikrometerschraube am optischen Gitter lässt sich der Wellenlängenbereich des Sonnenspektrums variieren.

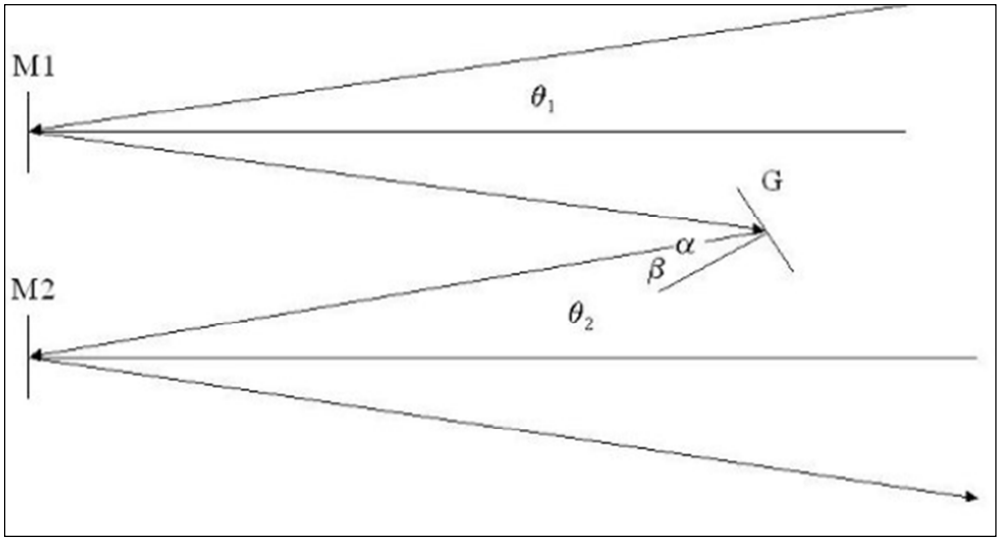

Abb. 19: Schematischer Czerny-Turner-Aufbau (Quelle: Schanne, Sablowski 2011, 5)

Die in der Abbildung genannten Winkel θ_1, θ_2, α und β, die man mithilfe bestimmter Eigenschaften des Spektrographen berechnen kann, sind für das grundsätzliche Verständnis des Sonnenspektrographen nicht von Bedeutung und wurden daher in der Erklärung des Czerny-Turner-Aufbaus nicht näher erklärt.

3.1.2.4 CCD-Detektor

Neben dem Anschluss für den Lichtwellenleiter befindet sich eine CCD-Kamera, die in die dafür angebrachte Öffnung an der Aluminiumwand angeschraubt ist. Bei der CCD-Kamera handelt es sich um eine Kamera des Modells 416XT der Firma Meade Instruments Corporation, die die Ausmaße 716 × 512 Pixel aus 9 × 9 µm großen quadratischen Pixeln aufweist. Sie ist über ein Steuerkabel mit einer Kontroll- und Steuereinheit verbunden.

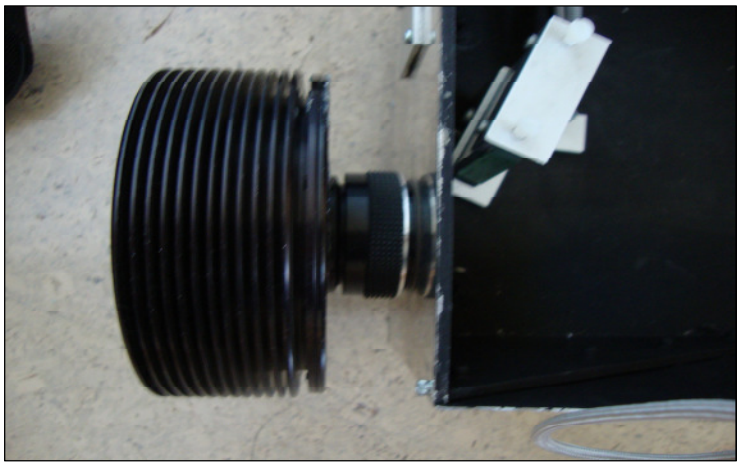

Abb. 20: CCD-Detektor (Quelle: eigenes Foto 2011)

3.1.2.5 Steuereinheit

Die Steuereinheit für die CCD-Kamera, zugehörig zum Modell 416XT von Meade, ist mit zahlreichen internen Funktionen wie etwa der Aufrechterhaltung einer konstant niedrigen Temperatur zur Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit des CCD-Chips ausgestattet. Zur Stromversorgung ist die Steuereinheit einerseits mit einem Netzgerät, das 12 V Gleichspannung liefert, verbunden und wird andererseits über eine SCSI-Schnittstelle vom Computer aus gesteuert, bei der am Laptop noch zusätzlich eine PCMCIA-Karte erforderlich ist.

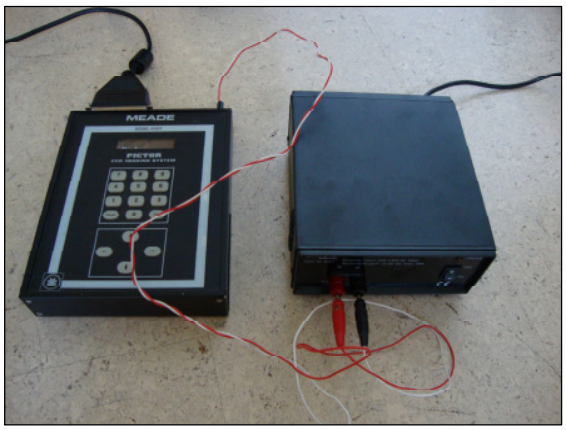

Abb. 21: Steuerbox (links) und Netzgerät (rechts) (Quelle: eigenes Foto 2011)

3.1.2.6 Computer

Der CCD-Detektor wird von Computer aus mithilfe des Programms PictorView gesteuert, das die Belichtungszeit festlegt. Die aufgenommenen Rohspektren lassen sich mithilfe des Bildbearbeitungsprogramms IRIS in eine geeignete Form bringen. Beispielsweise können der Kontrast oder die Bildausrichtung verändert und störende Dunkelströme der Spektren minimiert werden, um sie in einem weiteren Schritt mit der Auswertungssoftware Vspec zu analysieren.

3.2 Versuchsdurchführung

Im ersten Schritt muss der Spektrograph justiert und ein Kalibrationsspektrum mit einer Neonlampe erstellt werden, damit im Weiteren die Sonne bei unveränderter Schraubeneinstellung spektroskopiert werden kann.

3.2.1 Justierung

Um sicherzustellen, dass die Komponenten des Spektrographen so aufeinander abgestimmt sind, dass ein Lichtdurchgang vom Lichteintritt bis zum CCD-Detektor gewährleistet ist, wird bei abgeschraubten Lichtwellenleiter und CCD-Detektor ein Laserpointer in die Öffnung des Lichteintritts gerichtet. Sofern dann ein scharfer Laserpunkt an der Stelle des CCD-Chips erkennbar ist, sind die einzelnen Komponenten ordnungsgemäß aufeinander eingestellt. Andernfalls müssen die einzelnen Bestandteile des Sonnenspektrographen schrittweise in ihrer Ausrichtung verändert werden, bis sich am Lichtaustritt ein scharfes Bild des Laserpunkts darstellt.

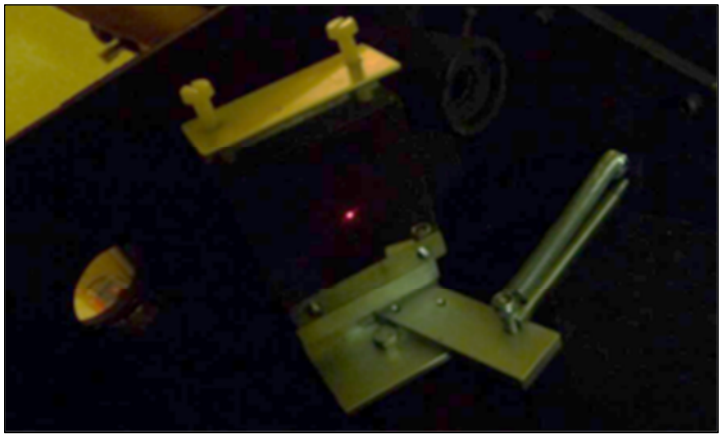

Abb. 22: Justierung des Gitters mit einem Laser (Quelle: Schanne, Sablowski 2011, 17)

3.2.2 Kalibrierung

Damit man beim später gewonnenen Sternspektrum den gemessenen Intensitäten anstatt unbestimmten Pixelwerten Wellenlängen zuordnen kann, muss zu jeder gewählten Schraubeneinstellung, hier z. B. von 12,0 mm, ein Vergleichsspektrum einer Strahlungsquelle hergestellt werden, deren Spektrum bereits bekannt ist. Dazu wird die Strahlungsquelle ohne Lichtwellenleiter an den Lichteintritt des Spektrographen gehalten und spektroskopiert. Das hierbei entstehende Rohspektrum wird im nächsten Schritt in Bezug auf seine äußere Form mit einem Bildbearbeitungsprogramm überarbeitet. Grundsätzlich lässt sich für einfache Funktionen jedes Bildbearbeitungsprogramm verwenden, doch um das bearbeitete Spektrum anschließend in Vspec, das nur .fts- oder .spc-Formate akzeptiert, öffnen zu können, wird hier das Programm IRIS verwendet, das über dieses Speicherformat verfügt. Zunächst wird das Spektrum gespiegelt, damit sich die kurzwelligen Bereiche im Spektrum links befinden, und der Kontrast eingestellt. Anschließend wird der Spektralfaden mithilfe der Funktion ‚Rotate' horizontal ausgerichtet, indem er durch die Eingabe des Rotationswinkels möglichst waagrecht ge-

dreht wird. Nach der Speicherung als .fts-Format, öffnet man es in Vspec, einem Programm zur Auswertung von Spektren. Beim Drücken des Buttons ‚Display reference binning zone' lässt sich ein rechteckiger Ausschnitt des Spektrums auswählen, von dem mit dem Button ‚Object binning' ein Profil erstellt wird. Hierbei werden für alle Pixel der Waagerechten auf dem Streifen die Intensitäten der über ihnen befindlichen Pixel innerhalb des Abschnitts addiert und als Kurve dargestellt. Es können bei diesem Vorgang zwar kleine Ungenauigkeiten auftreten, wenn die Spektrallinien nicht exakt vertikal ausgerichtet sind, doch bei geringfügigen Abweichungen macht sich der Fehler in der anschließenden Auswertung kaum bemerkbar und kann daher vernachlässigt werden. Um die Einheit auf der Abszisse von Pixel in Wellenlängen umzurechnen, werden über die Funktion ‚Calibration 2 lines' die Wellenlängen für zwei im Profil erkennbare Emissionslinien eingetragen, hier bei 6.030 Å und 6.074 Å. Die Werte entstammen dabei einem schon kalibrierten Neonspektrum. Aus diesen Werten berechnet das Programm eine Wellenlängenskala, sodass das Neonspektrum nun kalibriert vorliegt.

Abb. 23: Gespiegeltes Neonspektrum im Programm IRIS (Quelle: eigene Darstellung 2011)

Abb. 24: Weiter bearbeitetes Neonspektrum im Progamm IRIS (Quelle: eigene Darstellung 2011)

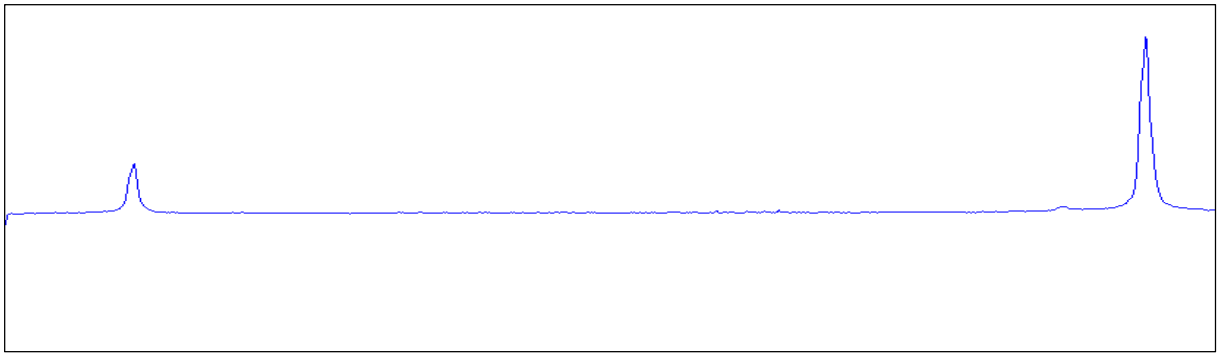

Abb. 25: Unkalibriertes Profil von Neon im Programm Vspec (Quelle: eigene Darstellung 2011)

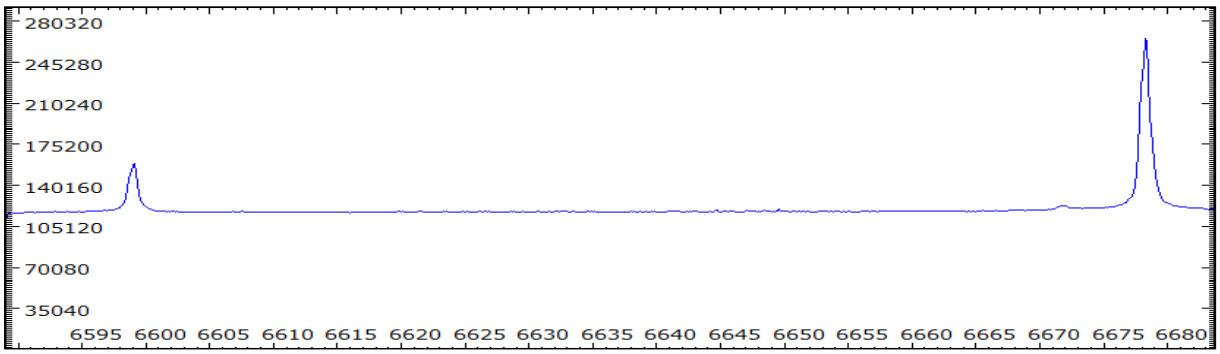

Abb. 26: Kalibriertes Neonspektrum im Programm Vspec in Å (Quelle: eigene Darstellung 2011)

3.2.3 Aufnahme des Sonnenspektrums

Nach der Aufnahme des Neonspektrums nimmt man bei unveränderter Schraubeneinstellung von 12,0 mm das Sonnenspektrum auf. Hierfür wird das aufgebaute Teleskop, das über den Lichtwellenleiter mit dem in einem abgedunkelten Zimmer befindlichen Spektrographen verbunden ist, auf die Sonne fokussiert. Das dabei entstehende Spektrum wird analog zum Neonspektrum zunächst im Programm IRIS bearbeitet, d. h. gespiegelt, rotiert und der Kontrast erhöht. Als .fts-Dokument gespeichert, öffnet man es mit dem Programm Vspec und fügt es in das kalibrierte Profil von Neon ein. Hierzu wird es kopiert und über den ‚paste'-Button in das Neonspektrum eingebettet. Somit liegt ein Sonnenspektrum mit Wellenlängenskala vor, was die Voraussetzung für die nachfolgende Auswertung bildet.

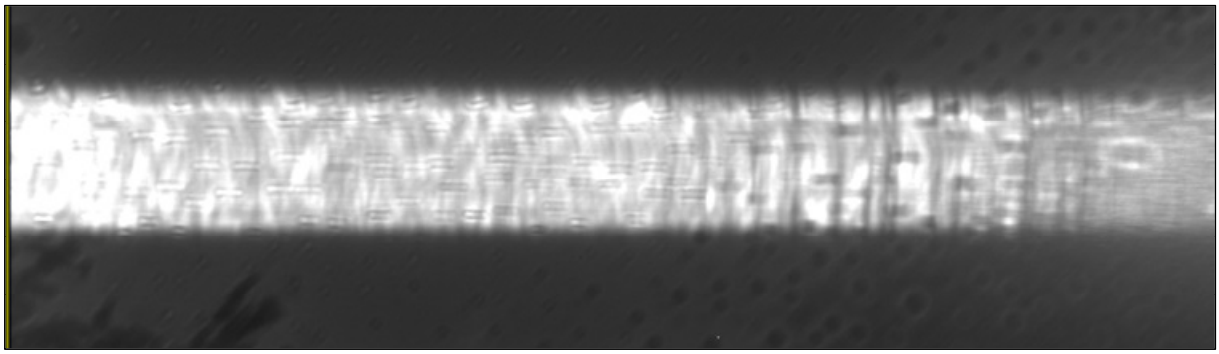

Abb. 27: Gespiegeltes Sonnenspektrum im Programm IRIS (Quelle: eigene Darstellung 2011)

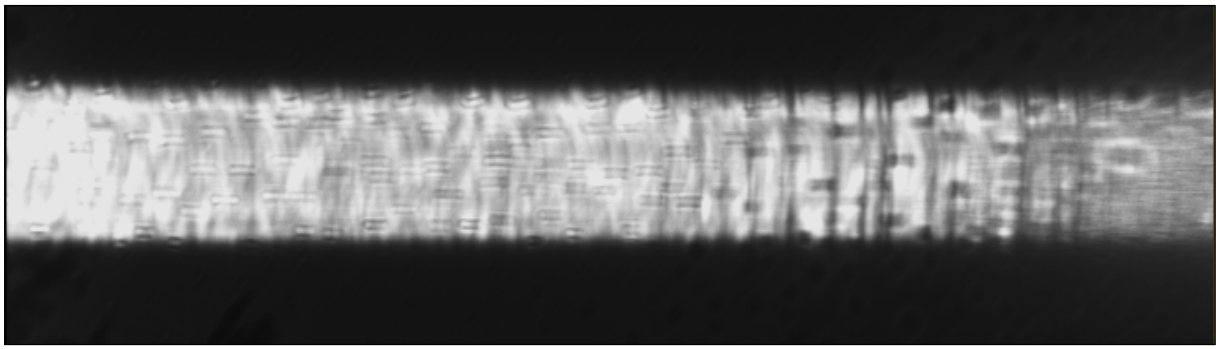

Abb. 28: Weiter bearbeitetes Sonnenspektrum im Programm IRIS (Quelle: eigene Darstellung 2011)

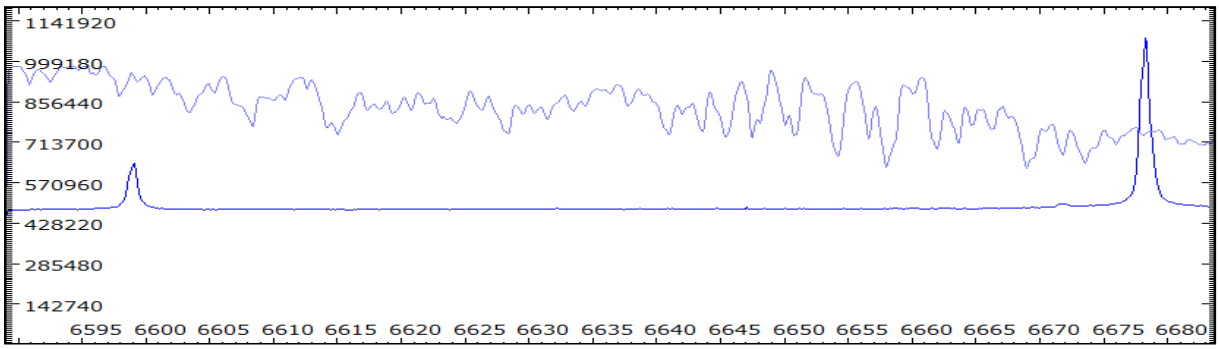

Abb. 29: Kalibriertes Sonnenspektrum (oben) und Neonspektrum (unten) im Programm Vspec (Quelle: eigene Darstellung 2011)

3.2.4 Aufbereitung eines weiteren Sonnenspektrums ohne Neonspektrum

Um in der Auswertung gehaltvolle Aussagen über die Sonne machen zu können, wird noch ein weiteres Sonnenspektrum zur Bestätigung und Vervollständigung des ersten Sonnenspektrums bearbeitet und in der Auswertung berücksichtigt. Bei diesem Sonnenspektrum, das bei einer Schraubeneinstellung von 10.5 mm gewonnen wird, zeigt das zugehörige Neonspektrum allerdings keine Emissionslinien. Demzufolge entfällt hier die Kalibrierung mithilfe des Neonspektrums. Um dennoch ein in Wellenlängen kalibriertes Sonnenspektrum zu erhalten, führt man die Kalibrierung stattdessen mit einer schon kalibrierten Vorlage dieses Sonnenspektrums aus einem unveröffentlichten Manuskript von Dr. Lothar Schanne durch. Hierzu wird das Sonnenspektrum zunächst in IRIS bearbeitet, indem man es spiegelt und den Kontrast etwas erhöht. Anschließend öffnet man es in Vspec und bearbeitet es analog zum Neonspektrum, indem man mit der Funktion ‚Display reference binning zone' einen rechteckigen Ausschnitt des Spektrums auswählt und über den Button ‚Object binning' ein Profil von diesem erstellen lässt. Um dieses Profil nun zu kalibrieren, werden die Wellenlängen der zwei markantesten Übereinstimmungen zwischen dem erstellten Profil und dem schon kalibrierten Profil dieses Sonnenspektrums von Dr. Lothar Schanne bestimmt und über die Funktion ‚Calibration 2 lines' eingegeben. Dadurch rechnet Vspec die Skala auf der Abszisse von Pixel in Wellenlängen um, sodass das Spektrum nun kalibriert ist und ausgewertet werden kann.

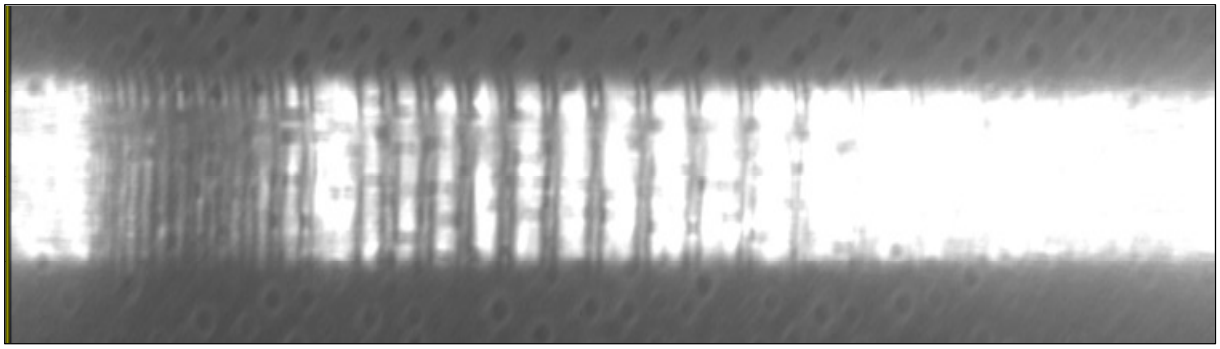

Abb. 30: Gespiegeltes Sonnenspektrum im Programm IRIS (Quelle: Eigene Darstellung 2011)

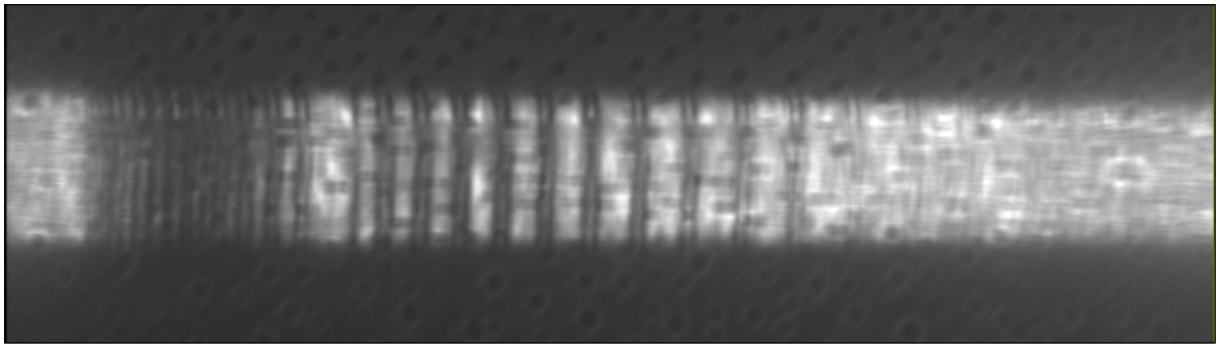

Abb. 31: Weiter bearbeitetes Sonnenspektrum im Programm IRIS (Quelle: eigene Darstellung 2011)

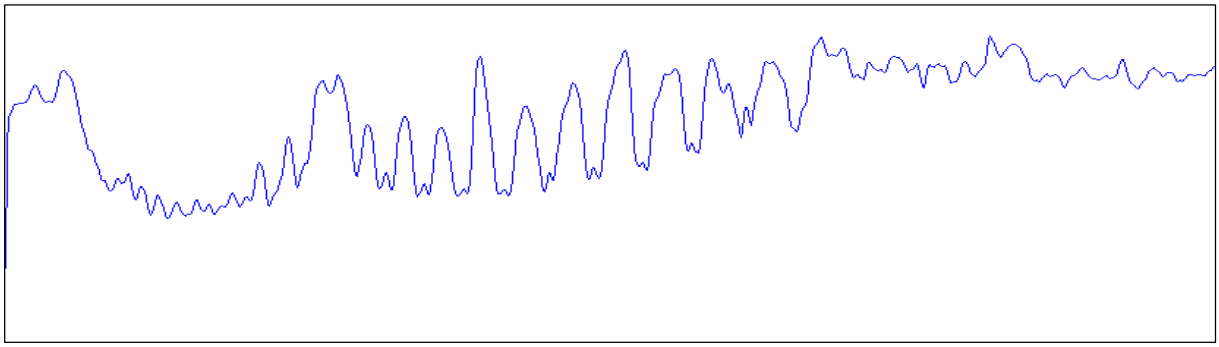

Abb. 32: Unkalibriertes Profil der Sonne im Programm Vspec (Quelle: eigene Darstellung 2011)

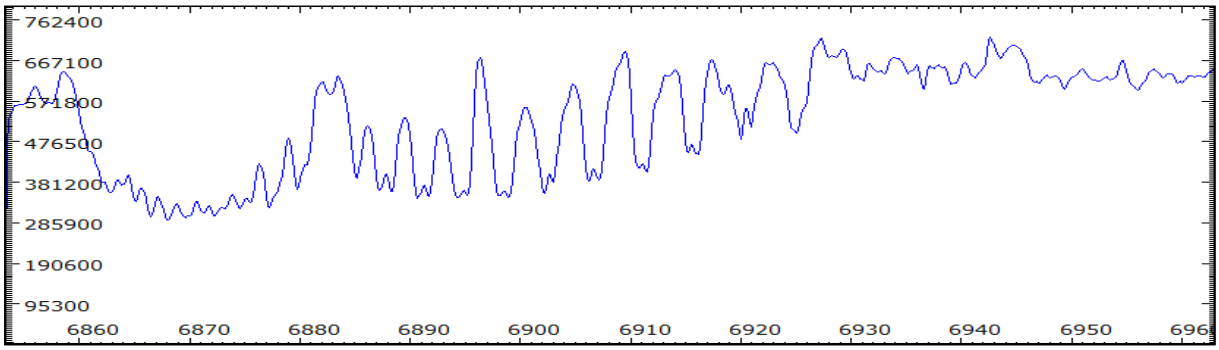

Abb. 33: Kalibriertes Sonnenspektrum im Programm Vspec (Quelle: eigene Darstellung 2011)

3.3 Versuchsauswertung

Mithilfe der vielfältigen Anwendungen von Vspec lassen sich aus den kalibrierten Sonnenspektren verschiedene Informationen über die Sonne gewinnen, so z. B. die Spektralklasse und die Oberflächentemperatur der Sonne.

3.3.1 Chemische Zusammensetzung

Über die Funktion ‚Elements' im Programm Vspec lassen sich die im kalibrierten Spektrum enthaltenen Elemente anhand eines Katalogs, der Elemente mit ihren zugehörigen Wellenlängen in einem Bereich von 5 000 Å bis 7 000 Å aufweist, identifizieren. Hierzu wird über die Funktion ‚Label' zu einer ausgewählten Linie des Spektrums entweder die zugehörige Wellenlänge bestimmt, für die die entsprechenden Elemente dem Katalog entnommen werden, oder die gewünschte Linie wird markiert, sodass daraufhin alle in Frage kommenden Elemente mit dieser Wellenlänge aufgelistet werden. Hiervon wird anschließend das Element ausgewählt, das die meisten Übereinstimmungen mit dem untersuchten Sonnenspektrum aufweist. So decken sich bei dem ersten Sonnenspektrum beispielsweise die Elemente Sauerstoff und einfach ionisiertem Schwefel, die durch grüne bzw. gelbe Emissionslinien gekennzeichnet sind, mit dem Sonnenspektrum. Zur Überprüfung des angenommenen Elements lässt sich ein Emissionsspektrum des gewählten Elements in das Spektrum einfügen, sodass bei Übereinstimmung aller Emissionslinien mit den Absorptionslinien von dessen Richtigkeit ausgegangen werden kann.

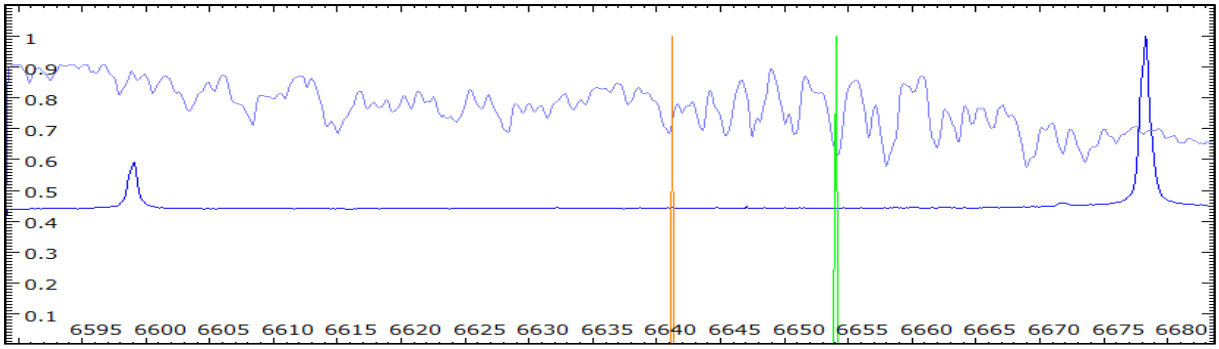

Abb. 34: Sonnenspektrum mit gelber Schwefellinie und grüner Sauerstofflinie im Programm Vspec (Quelle: eigene Darstellung 2011)

Beim zweiten Sonnenspektrum sind die Absorptionslinien von elementarem Magnesium, von einfach ionisiertem Sauerstoff sowie von elementarem Kobalt besonders auffällig. Darüber hinaus lässt sich bei einer Wellenlänge von 6867 Å eine Sauerstoffbande feststellen, die schon

beim Rohspektrum als deutliche Absorptionslinien erkennbar ist und im gesamten Sonnenspektrum als eine der wichtigsten Absorptionslinien gilt.

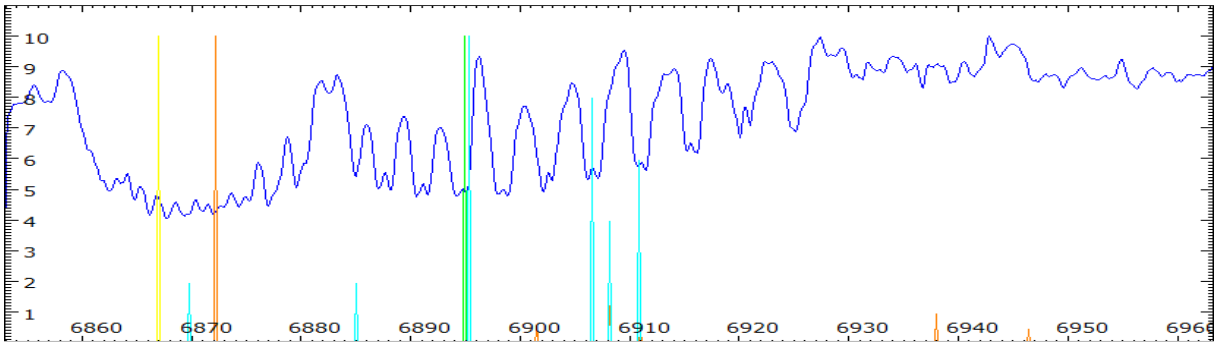

Abb. 35: Sonnenspektrum mit gelber Sauerstoffbande, blauen Sauerstofflinien, orangen Kobaltlinien und grüner Magnesiumlinie (Quelle: Eigene Darstellung 2011)

Aus diesen Ergebnissen lässt sich schließen, dass die Sonne in ihrer Atmosphäre unter Anderem das Metall Kobalt sowie die Nichtmetalle Sauerstoff, Schwefel und Magnesium aufweisen muss. In welchen Anteilen diese Elemente allerdings vorliegen, kann man den Spektren nicht direkt entnehmen, da sich die Häufigkeitsverteilung nicht allein aus der Intensität einer Absorptionslinie ergibt, sondern auch von anderen Faktoren wie beispielsweise der Temperatur determiniert ist.

3.3.2 Temperaturermittlung und Spektralklassifikation

Zur Ermittlung der Oberflächentemperatur ist das Wiensche Verschiebungsgesetz durch die nur ausschnittsweise vorgenommene Spektroskopie der Sonne ausgeschlossen, da zur Feststellung der Wellenlänge mit der maximalen Intensität das gesamte Spektrum vorliegen muss. Demzufolge bietet sich hier lediglich die indirekte Methode der Temperaturermittlung an, indem man über die Intensitäten der Atome, Ionen und Moleküle im Spektrum auf die Spektralsequenz schließt. Hieraus ist anschließend die ungefähre Oberflächentemperatur ersichtlich. So deuten die Metalllinien von elementarem Kobalt und die Magnesiumlinie im gewonnenen Ausschnitt des Sonnenspektrums auf die G-Klasse hin, welche durch erste Metalllinien sowie Linien von Kalzium und Magnesium gekennzeichnet sind. Folglich weist die Sonne eine Oberflächentemperatur von höchstens 6 000 K auf und trägt eine Farbe zwischen weißgelb und gelb, was die Literatur auch bestätigt.

4 Abschließende Betrachtung

Zwar könnte man die verschiedenen Anwendungen von Vspec wie auch die Physik des Lichts und der Spektren weiter ausbauen und vertiefen, doch um den Rahmen der Arbeit nicht noch weiter auszudehnen, soll an dieser Stelle ein Schlussstrich gezogen werden.

4.1 Fazit

Um aus dem Licht von Sternen Informationen gewinnen zu können, ist in erster Linie die Zerlegung des gebündelten Lichtstrahls in seine einzelnen Wellenlängen von Bedeutung. Schon hier lassen sich allein aus der Art des dabei entstehenden Spektrums erste Hinweise auf die Strahlungsquelle finden. Von einem Absorptionsspektrum ausgehend, lassen sich hieraus nun weitere Untersuchungen über die ungefähre Oberflächentemperatur, die qualitative Zusammensetzung der Sternatmosphäre und die Zuordnung zu einer Spektralklasse bewerkstelligen. Je nach Stern sind hierfür unterschiedlich leistungsfähige Spektroskope notwendig.

Für die Sonne erwies sich der Spektrograph nach dem Czerny-Turner-Aufbau sowie ein einfaches Linsenteleskop als ausreichend. So ließ sich hiermit ein durchaus aussagekräftiger Abschnitt des Sonnenspektrums exemplarisch gewinnen und mit dem Computer auswerten. Die Ergebnisse entsprachen dabei den Erwartungen und ließen trotz der bruchstückhaften Analyse des Sonnenspektrums Aussagen über die chemischen und physikalischen Bedingungen auf der Sonne zu.

4.2 Diskussion und Ausblick

Grundsätzlich dürfen derartig fragmentarisch gewonnene Informationen über einen Stern nicht als Grundlage für generelle und allgemeine Aussagen über dessen chemischen und physikalischen Zustand verwendet werden. Im Falle des spektroskopierten Sonnenspektrums wäre es mit dem Sonnenspektrographen rein theoretisch möglich, abschnittsweise das gesamte sichtbare Spektrum aufzunehmen und anschließend auszuwerten, um eine umfassendere Aussage über die Sonne treffen zu können. Allerdings bot sich dies im Rahmen der Arbeit nicht an, da zum einen das Ausmaß der dabei entstehenden Ausschnitte des Sonnenspektrums den Umfang der Arbeit sprengen würde und zum anderen nicht der Gewinn neuer Erkenntnisse im Vordergrund steht, sondern die exemplarische Anwendung spektroskopischer Methoden, wofür auch Ausschnitte eines Spektrums durchaus ausreichend sind.

Für eine wissenschaftlich hinreichend fundierte Spektralanalyse wäre wohl ein Spektralapparat, der einen größeren Wellenlängenbereich umfassen und aufnehmen kann, vorteilhafter. In diesem Fall würde sich ein Echelle-Spektrograph anbieten. Dies ist ein Spektrograph, der anstelle eines Blazegitters ein Echellegitter verwendet, das sein Licht in hohe Ordnungen reflektiert, wodurch sich weitaus umfangreichere Spektren erzeugen lassen. Bezüglich der Auswertung der gewonnenen Spektren mit dem Programm Vspec ist zudem anmerken, dass die Zuordnung der Elemente zu den Absorptionslinien teilweise mit Schwierigkeiten verbunden war. So zeigten viele Elemente nicht in allen Emissionslinien Übereinstimmung mit den Sonnenspektren oder wichen geringfügig von den Werten der Absorptionslinien ab, wie dies beispielsweise bei der Magnesium- beziehungsweise der Schwefellinie in den verwendeten Spektren zu sehen ist. Die Ursache hierfür liegt wohl in einer ungenauen Aufnahme der Sonnen- und Neonspektren, was zu einer ungenauen Kalibrierung des Sonnenspektrums führen kann und damit die Zuordnung der Elemente erschwert beziehungsweise verfälscht.

Abschließend wäre es wünschenswert, dass die Spektroskopie außer auf dem Gebiet der Astrophysik z. B. zur Suche bewohnbarer Exoplaneten auch verstärkt fächerübergreifend Anwendung findet. Exemplarisch steht hierfür die Entwicklerin des in dieser Arbeit verwendeten Programms Vspec, Valerie Desnoux, die beruflich in führender Position an der Entwicklung der digitalen Mammographie mitwirkt und über diese Schiene mit dem astronomischen Aspekt der Spektroskopie in Berührung kam.

5 Literaturverzeichnis

AstroLex-Spektralanalyse (2000): http://www.stav.at/old/astrolex/de/latest.html (Stand: 20.06.2011, Uhrzeit: 14:32 Uhr).

AstroLex-Spektralklassifikation (2000): http://www.stav.at/old/astrolex/de/spektralklassen.html (Stand: 21.06.2011, Uhrzeit: 12.34 Uhr).

Desnoux, Valerie (o. J.): http://valerie.desnoux.free.fr/h_myjob.html (Stand: 15.06.2011, Uhrzeit: 18.15 Uhr).

Elektroniktutor (2002): http://www.elektroniktutor.de/grundlg/spektral.html (Stand: 20.06.2011, Uhrzeit: 14:39 Uhr).

Franz-Oberthuer-Schule (o. J.): http://www.franz-oberthuer-schule.de/html/cms/cms/upload/projekte/homepage_phy/welleteilchen/dualismus.html (Stand: 15.06.2011, Uhrzeit: 17.24 Uhr).

Gau, Barbara; Meyer, Lothar; Ried, Claudia; Hermann-Rottmair, Ferdinand; Schmidt, Gerd-Dietrich; Steffen, Claudia (2007): Physik Gymnasium Bayern 9, DUDEN PAETEC, Berlin und C.C. Buchners Verlag, Bamberg.

Gau, Barbara; Hoche, Detlef; Meyer, Lothar; Ried, Andreas; Hermann-Rottmair, Ferdinand; Küblbeck, Josef; Ried, Claudia; Schwarz, Oliver (2008): Physik Gymnasium Bayern 10, DUDEN PAETEC, Berlin und C.C. Buchners Verlag, Bamberg.

Hefner, Isabell; Hermann, Georg; Kraus, Werner; Kreß, Christine; Orlik, Frank; Spichtinger, Roland (2009): Galvani Chemie 11, Bayerischer Schulbuchverlag, München.

Hermann-Rottmair, Ferdinand; Hoche, Detlef; Meyer, Lothar; Reichwald, Rainer; Schwarz, Oliver (2009): Physik Gymnasium Bayern 11, DUDEN PAETEC, Berlin.

Hermann-Rottmair, Ferdinand; Hoche, Detlef; Küblbeck, Josef; Meyer, Lothar; Schwarz, Oliver; Spitz, Christian (2010): Physik Gymnasium Bayern 12, DUDEN PAETEC, Berlin.

IGTE TU-Graz (1997): http://www.igte.tugraz.at/archive/leoben97/grundlagen/strahlung.htm (Stand: 20.06.2011, Uhrzeit: 13:50 Uhr).

Kaler, James B. (1994): Sterne und ihre Spektren: astronomische Signale aus Licht, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford.

Lehrer-online (2009): http://www.lehrer-online.de/764751.php (Stand: 20.06.2011, Uhrzeit: 14:01 Uhr).

Mortimer, Charles E.; Müller, Ulrich (2007): Chemie, 9. überarbeitete Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

Physik Uni Ulm (2002): http://wwwex.physik.uni-ulm.de/lehre/gk3a-2002/node38.html #SECTION 00811100000000000000 (Stand: 15.06.2011, Uhrzeit: 17.45 Uhr).

Quarks & Co. (02.02.2010): http://www.wdr.de/themen/global/webmedia/webtv/ getwebtv.phtml?ref=70083 (Stand: 15.06.2011, Uhrzeit: 12.56 Uhr).

Roth, Günter Dietmar (Hrsg.) (1981): Handbuch für Sternfreunde: Wegweiser für die praktische astronomische Arbeit, 3. überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

Schanne, Lothar; Sablowski, Daniel (2011): Sonnenspektrograph für Schüler, unveröffentlichtes Manuskript, o. O.

Scheffler, Helmut; Elsässer, Hans (1974): Physik der Sterne und der Sonne, B.I.-Wissenschaftsverlag, Heidelberg.

Spectrosphere (o. J.): http://home.arcor.de/l.schanne/Einsteiger/Spektypen/Spektypen.html (Stand: 20.06.2011, Uhrzeit: 16.05 Uhr).

Sternfreunde Beelitz (o. J.): http://www.sternwarte-beelitz.de/wissenswertes_astrophysik.php (Stand: 20.06.2011, Uhrzeit: 14:36 Uhr).

Timble Medientechnik Emden (o. J.): http://timble.medientechnik-emden.de/waghoo/ Regenbogen/gesamt.html (Stand: 20.06.2011, Uhrzeit: 13:57 Uhr).

Uni Basel (o. J.): http://pages.unibas.ch/phys-ap/HTML/77/anl77.htm (Stand: 20.06.2011, Uhrzeit: 14:26 Uhr).

Uni Göttingen (2006): http://lp.uni-goettingen.de/get/text/7004 (Stand: 20.06.2011, Uhrzeit: 14:43 Uhr).

Uni Mainz (2007): http://www.students.uni-mainz.de/jungc000/uugit/arbeitst/chemanal/ anauvvis/intuvvis.htm (Stand: 20.06.2011, Uhrzeit: 14:04 Uhr).

Weigert, Alfred; Wendker, Heinrich J. (1996): Astronomie und Astrophysik: ein Grundkurs, 3. überarbeitete Auflage, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim.

Wikipedia (2007): http://www.de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bohr-atom-PAR.svg&filetime stamp=20071116134247 (Stand: 20.06.2011, Uhrzeit: 13:42 Uhr).

6 Erklärung

1. Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe, nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt habe und sie an keiner anderen Stelle veröffentlicht wurde.

2. Ich versichere, keine weiteren Hilfsmittel außer den angeführten verwendet zu haben.

3. Soweit ich Inhalte aus Werken anderer Autoren dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen habe, sind diese unter Angaben der Quelle kenntlich gemacht. Dies bezieht sich auch auf Tabellen und Abbildungen.

4. Die gesetzlichen Vorschriften zum Datenschutz und zum Schutz der Urheberrechte wurden beachtet.

Amberg, den 31. Oktober 2011

(Unterschrift der Verfasserin)

Danksagung

Diese Danksagung ist Herrn Dr. Lothar Schanne, dem Vertreter des Fachgruppensprechers der Fachgruppe Spektroskopie, einer Fachgruppe innerhalb der Vereinigung der Sternfreunde e.V. (VdS), gewidmet, der mir bereitwillig seinen Spektrographen für die Seminararbeit zur Verfügung gestellt hat.

Ferner möchte ich mich bei Frau Valerie Desnoux bedanken, die mir hilfreich auf meine Fragen zur Installation des Programms Vspec antwortete.