Einfluss der Mondoberfläche auf das Spektrum der Sonne

Jonas Endres

Am Waldsaum 1 42327 Wuppertal

Telefon: 0176 95486851 jonas.e1995@yahoo.de

Leon Hoeborn

Zur Kaisereiche 24 42349 Wuppertal

Telefon: 0157 88966171 Leon_H14@yahoo.de

Projektkurs Astronomie Q1 2013/2014

Betreuer: Dipl.-Phys. Bernd Koch

Carl-Fuhlrott-Gymnasium, Wuppertal 04.06.2014

Inhaltsverzeichnis

Seite

1. Einleitung ……..4

1.1 Begründung des Themas ……4

1.2 Zielsetzung……..4

2. Theoretische Grundlagen ……6

2.1 Der Mond als Planet ……6

2.1.1 Physikalische und Chemische Eigenschaften ……..6

2.1.2 Mondveränderungen ……8

2.2 Die Sonne ……...9

2.2.1 Physikalische und Chemische Eigenschaften ……..9

2.2.2 Vorgänge auf der Sonnenoberfläche ……11

2.3 Wechselwirkungen zwischen Sonne-Monden-Planeten ……...15

2.4 Spektroskopie ……...18

2.4.1 Zerlegung des Lichtes ……18

2.4.2 Spektren ……20

3. Praktische Ausrüstung ……28

3.1 Allgemeine Ausrüstung der Sternwarte ……28

3.2 Spezielle Ausrüstung zur Astrofotographie ……...29

3.3 Spezielle Ausrüstung zur Spektroskopie ……...……32

3.4 Software ……..33

4. Eigene Aufnahmen von Mond und Sonne mit Auswertung ……34

4.1 Fotos Mond ……34

4.2 Fotos Sonne …….....42

4.3 Videos Sonne ……...……46

4.4 Auswertung der Mond- und Sonnenspektren……50

5. Portfolios ……...…….59
5.1 Sonne ……59
5.2 Mond …….……61

6. Zusammenfassung und Ausblick ……63

Danksagung

Literaturverzeichnis

Abschlusserklärung

Anhang
Datenträger

1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen des Projektkurses Astronomie entstanden und wurde von Herrn Bernd Koch betreut.

1.1 Begründung des Themas

Das Universum ist von seiner Größe und Vielfalt her faszinierend. Darum haben wir die Gelegenheit wahrgenommen, mehr darüber im Projektkurs Astronomie kennenzulernen. Zu jedem Thema, welches man auswählt, lernt man immer wieder neue Aspekte und interessante Phänomene, zum Beispiel zu Themen von den Doppelsternen über die Supernovä bis hin zu den verschiedenen Spektren der Planeten und Sonnen, kennen.

Unser tägliches Leben wir durch die Sonne und den Mond und natürlich die Erde, auf der wir leben, am stärksten beeinflusst. Die Planeten Erde und Mond sowie die Sonne unseres Sonnensystems interessieren uns besonders und dabei auch die Vorgänge auf der Sonne und dem Mond sowie die Wechselwirkung zwischen diesen drei Himmelskörpern. Es stellt sich die Frage, wie man Vorgänge auf dem Mond und der Sonne erfassen und identifizieren und im Weiteren auch erklären kann.

Eine Möglichkeit der Erfassung ist die Spektroskopie. Dieses Thema (verschiedene Spektren der Planeten und Sonnen) hat uns am meisten interessiert. Die Spektroskopie ist einer der vielseitigsten Themenbereiche, die es in der Astronomie gibt. Unser Interesse wurde insbesondere während des Spektroskopie-Kurses geweckt.

1.2 Zielsetzung

Wir haben uns daher vorgenommen, in dieser Projektarbeit auf die Sonnen- und Mondspektren einzugehen. Dabei soll insbesondere der Einfluss der Mondoberfläche auf die Spektren des Sonnenlichtes erfasst und dargestellt werden. Vereinfacht dargestellt muss zum einen das Spektrum der Sonne aufgenommen werden und zum anderen das Spektrum des vom Mond reflektierten Lichtes. Ein Vergleich der beiden Spektren liefert die Veränderungen des Sonnenspektrums durch die Eigenschaften der Mondoberfläche.

Um Veränderungen auf dem Mond und der Sonne sowie Wechselwirkungen erfassen und darstellen zu können, benötigt man Aufnahmen von Spektren, Fotos und Videos. Wir werden unsere selbst aufgenommen und ausgewerteten Spektren zu Grunde legen, um die spezifischen Eigenschaften und die Unterschiede festzustellen.
Durch die Fotos und Videos werden sowohl Orte als auch Ereignisse wie z. B. Sonneneruptionen dokumentiert als auch Animationen der Ereignisse erstellt. Weiterhin werden wir mit Hilfe der Spektren Portfolios der Sonne und des Mondes erstellen, wobei wir auch durch die ausgewerteten Spektren die einzelnen Stoffe und Temperaturen des Mondes und der Sonne bestimmen.
Durch die hervorragende Ausstattung unseres Gymnasiums im Bereich der Astronomie sind wir so in der Lage, eine Projektarbeit zu erstellen, die ein besonders interessantes Thema beinhaltet und unseren Kenntnisstand deutlich erweitert.

2. Theoretische Grundlagen

Im folgenden Kapitel wollen wir uns mit dem Mond beschäftigen, in dem wir uns anschauen, wie er aufgebaut ist, woraus er besteht und was für Einflüsse auf ihn wirken.

2.1 Der Mond als Planet

Um den Mond ranken sich schon seit Tausenden von Jahren Mythen. Was ist der Mond wirklich?

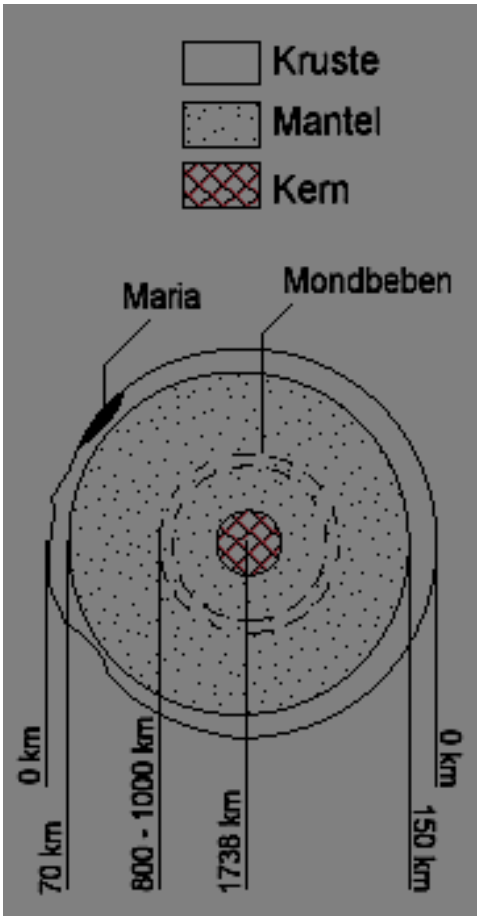


Abb. 2.1: Querschnitt des Mondes

http://de.wikipedia.org/wiki/Mond (Zugriff:12.5.2014)

2.1.1 Physikalische und Chemische Eigenschaften

Der Mond ist der einzige natürliche Satellit der Erde mit einer mittleren Entfernung von 384.700 km. Sein Radius beträgt 1738 km und er hat eine Dichte von 3,34 g/cm^3, womit er nur 1/81 der Erdmasse hat. Selbst von der Erde aus lässt sich mit bloßem Auge seine auffällige Oberflächenstruktur erkennen, die man grob in helle und dunklere Flächen aufteilen kann. Die helleren Flecken bezeichnet man als *Terrae*, was so viel wie Festland/Land bedeuten soll, während die dunkleren Stellen als *Maria*, bedeutend für Meere, bezeichnet werden. Wenn man den Mond nun einmal näher beobachtet, beispielsweise durch ein Fernrohr oder Teleskop, kann man erkennen, dass die Terrae mit großen und kleinen Kratern übersät ist, wogegen man auf den Maria kaum Krater vorfindet.

Durch verschiedene Raumfahrtmissionen konnten genauere chemische Analysen des

Mondgesteins vorgenommen werden, wodurch man herausfand, dass es aus leichten aluminium- und silikatreichen Mineralien besteht. Zusammen mit der physikalischen Beschaffenheit der Gesteine führt dies zu einer Unterteilung in lunare Basalte, Anorthosite und Breccie. Basalte und Anorthosite entstammen endogenen Prozessen des Mondes, Breccie hingegen entstanden durch Aufschlagprozesse.

Auf dem Mond hinterlassene Seismometer registrieren solche Einschläge (Aufschlagprozesse) als Bebenwellen, die ganz anders als bei der Erde kaum werden. Aus diesem Grund besteht die Mondkruste aus einer dicken Schicht zertrümmerter Basaltstücke, worüber nur eine dünne Schicht Regiolith liegt, die bei kleineren Einschlägen entsteht. Derartige Bebenwellen beschleunigen ihre Geschwindigkeit ab einer Tiefe von 20 km und bleiben konstant, bis sie die 60-km-Marke erreichen, ab da an steigt die Geschwindigkeit erneut an. Diese 40 km dicke Schicht unterscheidet sich kaum von der darunterliegenden Mantelschicht, erst ab einer Tiefe von 1200 km beginnt der Kern. In diesem Punkt unterscheidet sich der Mond ganz deutlich von der Erde, die zum Großteil aus dem Erdkern besteht und nur eine dünne Kruste hat.[1]

Die chemische Beschaffenheit des Mondes lässt sich durch die Erforschung der Mondkruste erfassen, da die Oberfläche durch die Bildung großer Krater immer wieder umgewühlt wurde. Zusätzliche Hinweise bieten spektroskopische Beobachtungen, da man durch das reflektierte Sonnenlicht zusätzliche Absorptionslinien der auf dem Mond vorhandenen Elemente erkennen kann.

Nach der Entstehung des Mondes vor 4,6 Milliarden Jahren (zur selben Zeit wie die Erde), bestanden die oberen 100-200 km aus geschmolzenem Mondgestein, aus dem nach dem Abkühlen die Terrae-Bereiche entstanden. In den nächsten 500-700 Millionen Jahren war der

Abb. 2.2: Weg des Sonnenlichtes

http://de.wikipedia.org/wiki/Mond (Zugriff: 12.5.2014)

[1] www.techniklexikon.net, Zugriff 28.5.2014

Mond einem Bombenhagel an Asteroiden ausgesetzt, wodurch die heutigen Mondkrater entstanden. Während sich die Mondoberfläche immer weiter abkühlte, heizte sich das Innere des Mondes durch radioaktiven Zerfall immer weiter auf, so dass Risse in den Mondschichten entstanden und Basalt aus dem Mondinneren an die Oberfläche gelangte. Dieser Basalt füllte einige der Mondkrater/ Becken, wodurch die heutigen Maria entstanden.

Da der Mond keine Atmosphäre besitzt, herrschen auf ihm enorme Temperaturdifferenzen. Auf der von der Sonne angestrahlten Seite beträgt die Temperatur auf der Oberfläche +130°C, wogegen die Temperatur auf der sonnenabgewandten Seite stark auf -160°C absinkt. Diese deutlichen Unterschiede bewirken mit der Zeit eine thermische Verwitterung der Mondoberfläche und die Bildung von Regioliten.[2][3]

2.1.2 Mondveränderungen

Im Laufe der Zeit entfernt sich der Mond immer weiter von der Erde, bis er schließlich so weit von der Erde entfernt ist, das die Gravitationskraft zwischen Erde und Mond nicht mehr ausreicht, um den Mond in der Umlaufbahn der Erde zu halten und er einfach abdriftet. Grund dafür sind die Gezeitenkräfte. Wie in Abb. 2.3 gezeigt, entstehen durch die Gravitationskraft des Mondes zwei Flutberge (Punkt a und b), die bei uns auf der Erde für Ebbe und Flut sorgen. Diese beiden Flutberge stehen allerdings nicht genau auf einer Achse mit dem Mond, sondern sind ein Stück versetzt, so dass Punkt a etwas vor der Bildebene Erde-Mond steht. Das liegt daran, dass durch die Erddrehung und die starke Reibung zwischen Wasser und Erde das Wasser ein Stück mitgezogen wird. Diese Flutberge, die nun

Abb. 2.3: Verteilung der Flutberge
http://scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2008/05/07/der-mond-die-gezeiten/ (Zugriff: 18.05.2014)

[2] www.spektrum.de/lexikon/physik/mond/9945, Zugriff 12.05.2014

[3] http://de.wikipedia.org/wiki/Mond , Zugriff 12.05.2014

etwas weiter gedreht sind als der Mond, üben natürlich auch eine Anziehungskraft auf den Mond aus, eine die sehr gering ist, aber trotzdem dazu ausreicht, den Mond immer weiter zu beschleunigen. Dies bedingt seinerseits, dass sich der Mond Jahr für Jahr ein kleines Stückchen von der Erde entfernt (Drittes Keplersches Gesetz).[4] Dieser Effekt konnte erstmals 1995 mit Hilfe eines Laser-Distanzmessers nachgewiesen werden, da sich der Abstand jährlich gerade mal um 3,8 cm vergrößert, was zudem zu einer Verlängerung der irdischen Tageslänge um etwa eine Sekunde in 100 000 Jahren führt.[5]

2.2 Die Sonne

Die Sonne ist der wichtigste Himmelskörper, den wir zum Leben brauchen. Sie schenkt uns Wärme und Licht.

2.2.1 Physikalische und Chemische Eigenschaften

Die Sonne ist mit 5778°Kelvin, umgerechnet 5504,85°Celsius, und mit einem Alter von $4{,}57*10^9$ Jahren der heißeste und älteste Himmelskörper in unserem Sonnensystem. Sie ist durchschnittlich 149,6 Millionen Kilometer von der Erde entfernt. Die mittlere Dichte der Sonne beträgt 1,408 g/cm^3 und die Sonne hat einen Radius von 1.392.684 km[1]. Mit Hilfe der Dichte und des Radius kann man das Volumen und auch die Masse der Sonne

Abb. 2.4: Sonne mit Rotfilter
Foto: Leon Hoeborn und Jonas Endres 19.03.2014, 17.31 MEZ

[4] http://www.scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2008/05/07/der-mond-die-gezeiten/ (Zugriff: 18.05.2014)

[5] http://de.wikipedia.org/wiki/Mond#Vergr.C3.B6.C3.9Ferung_der_Umlaufbahn (Zugriff: 18.05.2014)

ermitteln. Wir nehmen dafür an, dass die Sonne eine vollkommene Kugel sei. Wie uns schon aus dem Mathematikunterricht bekannt ist, wird das Volumen einer Kugel mit folgender Formel berechnet:

$$V_{Kugel} = 4/3 * \pi * r^3$$

Um nun auf die Masse der Sonne zu kommen, muss man das Volumen mit der Dichte multiplizieren und dabei zur Vereinheitlichung mit SI-Einheiten rechnen. Damit folgt die komplette Rechnung für das Volumen und die Masse zu:

SI-Einheiten: ρ(Dichte) = 1,408 g/cm^3 = 1408 kg/m^3

R(Radius) = 695.800 km = 0,6958*10^9 m

Durch Einsetzen in die Volumengleichung ergibt sich das Volumen der Sonnen zu:

$$V_{Sonne} = 4/3 * \pi * (0{,}6958*10^9\ m)^3$$
$$= 4/3 * \pi * 0{,}6958^3 * 10^{27}\ m^3$$
$$= 1{,}411 * 10^{27}\ m^3$$

Und somit ergibt sich die Masse der Sonne zu:

$$M_{Sonne} = V_{Sonne} * \rho_{Sonne}$$
$$= 4/3 * \pi * 1{,}411 * 10^{27}\ m^3 * 1.408\ kg/m^3$$
$$= 1{,}987 * 10^{30}\ kg$$

exakter Wert: 1,989*10^{30} kg

Die Sonne besteht aus vielen verschiedenen Stoffen wie Helium und Wasserstoff. Hier sind die sechs Hauptbestandteile der Photosphäre aufgelistet:

Wasserstoff	92,1%
Helium	7,8 %
Sauerstoff	500 ppm
Kohlenstoff	230 ppm

Neon	100 ppm
Stickstoff	70 ppm

Tab. 2.1: Bestandteile in der Sonnenphotosphäre
http://de.wikipedia.org/wiki/Sonne *(Zugriff: 16.4.2014)*

2.2.2 Vorgänge auf der Sonnenoberfläche

Die Sonne besteht aus mehreren verschiedenen schalenförmigen Zonen. Die oberste Schicht, die wir von der Erde aus sehen können, ist die Photosphäre oder auch Oberflächenschicht genannt. Über die Photosphäre gelangt die Wärme- und Strahlungsenergie, die im Inneren der Sonne durch radioaktive Vorgänge entsteht, in den Weltraum.

Der Photosphäre folgt die Chromosphäre. Diese kann man auf mehrere Arten beobachten, wie z.B. mit der Abdeckscheibe auf einem Teleskop oder während einer totalen Sonnenfinsternis, wo „man die Chromosphäre als leuchtenden, rosafarbenen Kranz um die Sonne herum von der Erde aus betrachten“[6] kann. Für unser Thema ist die Chromosphäre besonders wichtig, da aus ihr Spiculen, Flares und Protuberanzen heraustreten. Eine weitere interessante Eigenschaft der Chromosphäre ist die Temperaturverteilung. Die Temperatur nimmt von innen nach außen nicht ab, so wie wir es gewohnt sind, sondern die Temperatur steigt von innen mit etwa 6.000° Kelvin nach außen auf etwa 20.000° Kelvin.

Die letzte Ebene der Sonne ist die Korona. Diese kann man mit einer Atmosphäre vergleichen und geht in den interstellaren Raum über. „Die Korona ist gekennzeichnet durch eine sehr geringe Dichte und eine unvorstellbar hohe Temperatur von normalerweise etwa 2.000.000° Kelvin, die in aktiven Regionen jedoch bis auf 9.000.000° Kelvin ansteigen kann. Die Korona wird durch das Sonnenmagnetfeld geformt und besteht aus ionisiertem Gas.“[6] In der Korona finden auch verschiedene Vorgänge statt wie z.B. Koronale Massenauswürfe, Coronal Loops und Koronale Löcher, die aber nur von außerhalb der Erdatmosphäre beobachtet werden können.[6]

[6] http://www.ajoma.de/html/sonne1.html Zugriff: 11.05.2014

Die Vorgänge, die uns für unsere Projektarbeit aber am meisten interessieren, sind die, die sich in der Chromosphäre abspielen.

Protuberanzen sind zum Beispiel leuchtende Wasserstoffplasmaausbrüche, welche aus der Chromosphärschicht in den Weltraum geschleudert werden. Diese Würfe haben die Form von gigantischen Bögen. Verantwortlich für solche Protuberanzen sind die Magnetfelder der Sonne.

Wo die Magnetfeldlinien die Sonnenoberfläche durchbrechen, entstehen z.B. solche Protuberanzen (siehe Abb. 2.5).[7] Man kann bei Protuberanzen „eine zyklische Veränderlichkeit der Indikatoren über einen Zeitraum von mehreren Jahren“[8] beobachten. Bei einer Protuberanz auf der Sonne werden verschiedene elektrische Teilchen in den Weltraum geschleudert.

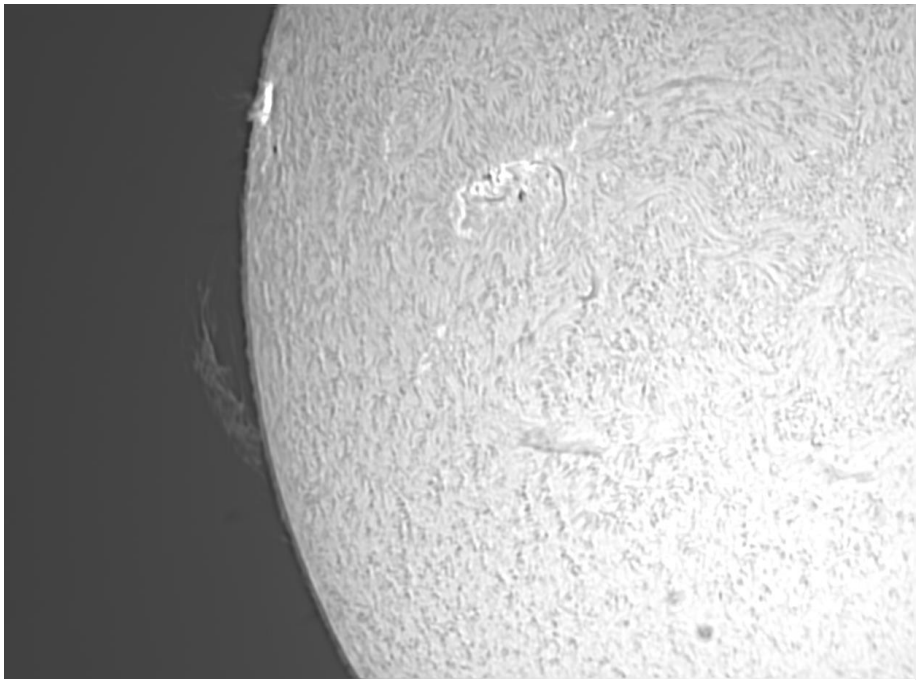


Abb.2.5: Protuberanz
Foto: Leon Hoeborn und Jonas Endres 19.03.2014 15.40 MEZ

Die einfache Darstellung der Protuberanz erfolgt an dieser Stelle über drei Fotos, die den Verlauf schrittweise wiedergeben. Eine vollständige Animation findet sich auf der beiliegenden Datenträger in Form eines Videos. Eine detaillierte Erläuterung über die Entstehung der Animation über die Bearbeitung der aufgenommenen Videos ist in Kapitel 4 gegeben.

[7] http://www.astronomie.at/sofi99/protuberanzen.asp Zugriff 11.05.2014
[8] http://de.wikipedia.org/wiki/Protuberanz Zugriff 11.05.2014

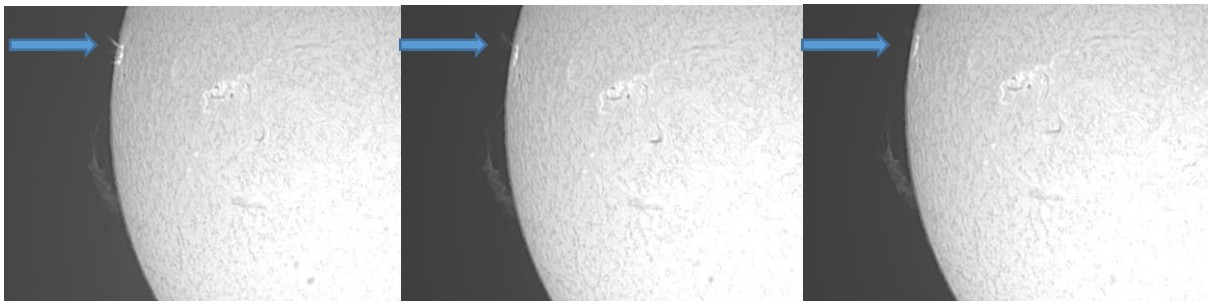


Abb. 2.6: Verlauf einer Protuberanz (Pfeil)

Fotos: Leon Hoeborn und Jonas Endres 19.03.2014 15.45; 15.50; 15.55 MEZ

Aus den Aufnahmedaten ist erkennbar, dass diese Protuberanz in einem relativ kurzen Zeitraum abläuft; die hier drei gezeigten Fotos umfassen eine Spanne von 10 Minuten. Die betrachte Protuberanz ist durch einen Pfeil markiert. Es ist deutlich erkennbar, dass im ersten Bild der Ausbruch erfolgt, also die eigentliche Protuberanz, dass diese im zweiten Bild zurück geht und im dritten Bild fast nicht mehr sichtbar ist. In der unteren Hälfte der Fotos ist ebenfalls eine Protuberanz erkennbar, die sich aber nicht wesentlich verändert im Betrachtungszeitraum.

Auf dem Foto ist die (markierte) Protuberanz deutlich erkennbar, ihre Höhe ist messbar. Wir können an dieser Stelle eine Abschätzung der Höhe der Protuberanz vornehmen, in dem wir sie mit bekannten Abmessungen wie z. B. Durchmessern von Sonnenflecken oder mit dem Durchmesser der Sonne selbst vergleicht. Die betrachtete Protuberanz weist also eine Höhe von ungefähr 90.000 km auf.

Wenn die Protuberanz in Richtung der Erde geht, werden also elektrische Teilchen in Richtung der Erde geschleudert. Bei normalen Protuberanzen werden die Elektronen von dem Magnetfeld der Erde eingefangen und zum Nord- oder Südpol geleitet. An den Polen angekommen, regen die Elektronen die Luftmoleküle zum Leuchten an, dadurch entstehen die sog. Polarlichter. Dieser Vorgang findet normalerweise in einer

Höhe zwischen 65 und 400 km statt. Bei erdmagnetischen Stürmen kann dies gelegentlich auch in bis zu 1200 km Höhe beobachtet werden.[9]

Abb. 2.7 Polarlichter
http://www.trendtours-exklusiv.de/content/article/images/polarlichter/19.jpgZugriff: 17.05.2014

Wenn eine sehr starke Protuberanz stattfindet, wird eine große Elektronenwolke in Richtung der Erde geschleudert. Wenn diese auf den Van-Allen-Gürtel trifft, die Magnetfeldlinien der Erde, wird der auf der Sonnenseite stark zusammen gedrückt und die Magnetlinien ziehen sich auf der sonnenfernen Seite in die Länge. Die Elektronen haben dann die Möglichkeit bei den Polen tiefen in die Atmosphäre einzudringen und fliegen dann über der Erde entlang. Die ionisierenden Materiewolken beeinflussen das Magnetfeld der Erde und das zum Ausfall von Satelliten oder Elektrizitätswerken führen.[10]

[9] http://www.meteoros.de_polar_polar.htm Zugriff 17.05.2014
[10] http://abenteuer-universum.de Zugriff 17.05.2014

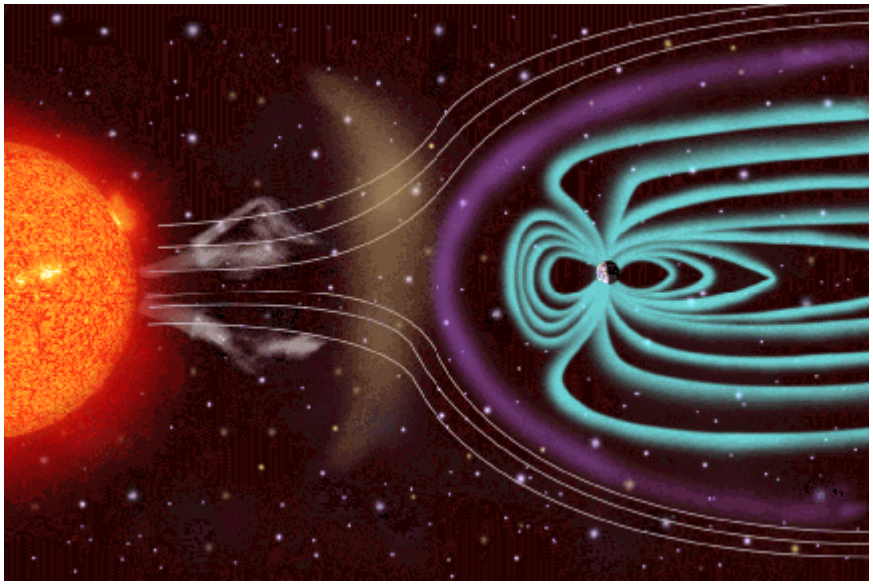


Abb. 2.8 Van-Allen-Strahlungsgürtel
http://abenteuer-universum.de/sterne/sonne.html

2.3 Wechselwirkung zwischen Sonne-Monden-Planeten

Jedem Menschen auf unserer Erde ist bekannt, dass sich der Mond um die Erde dreht, und dass man diesen nachts am Himmel erblicken kann. Populär-wissenschaftliche Annahmen gehen davon aus, dass der Mond von der Gravitationskraft der Erde angezogen und dabei auf einer elliptischen Bahn gehalten wird, die den Mond um die Erde kreisen lässt. Die Erde wird zu dem von der Gravitationskraft der Sonne angezogen, so dass die Erde mit dem gleichen Prinzip auf einer elliptischen Bahn um die Sonne wandert. Dadurch dreht sich das Erde-Mond-System um die Sonne (Abb. 2.8).

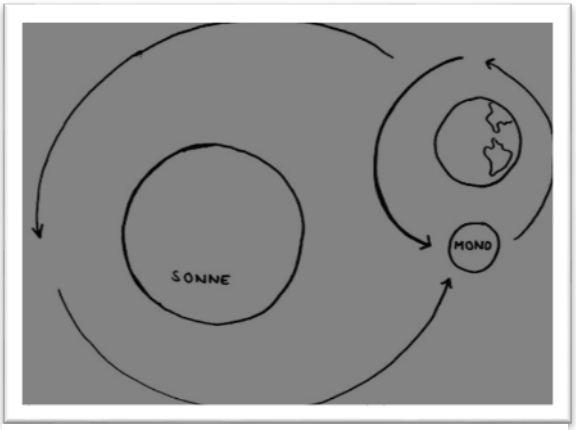


Abb. 2.9: Sonne-Erde-Mond System
http://www.google.de/wdr.Mond_Erde_drehen-um-Sonne_g.jpg

Diese Vorstellung des Aufbaus vom Sonne-Erde-Mond System ist an sich auch nicht falsch, nur die Erklärung, wie es zu solch einer Aufstellung von der Sonne, Erde und Mond kommt, weicht wissenschaftlich gesehen ab und ist sehr verblüffend!

Um zu verstehen, wie es dazu kommt, dass der Mond um die Erde kreist, kann man die Anziehungskraft/Gravitationskraft, die zwischen dem Mond und der Erde wirkt, mit der Formel

$$F_G = G * \frac{M*m}{r^2}$$

berechnen. Hierbei sind:

G = Gravitationskonstante	G = $6{,}67259 * 10^{-11}\ m^3/kg * s^2$
M = Masse der Erde	M = $5{,}976 * 10^{24} kg$
m = Masse des Mondes	m = $7{,}348 * 10^{22} kg$
r = Abstand von Erde-Mond	r = $384700 km$

Somit ergibt sich die Anziehungskraft F_G zu:

$$F_G = 1{,}9798 * 10^{20}\ N$$

Vergleicht man diese Gravitationskraft zwischen Erde und Mond nun mit der Gravitationskraft zwischen Sonne und Mond, so ergibt sich die Anziehungskraft F_G* zwischen Sonne und Mond analog wie folgt:

G = Gravitationskonstante	G = $6{,}67259 * 10^{-11}\ m^3/kg * s^2$
M = Masse der Sonne	M = $1{,}999 * 10^{30} kg$
m = Masse des Mondes	m = $7{,}348 * 10^{22} kg$
r = Abstand von Sonne-Mond	r = $1{,}5 * 10^{11}$ m

$F_G^* = 4{,}3561 * 10^{20}$ N

Es ist leicht ersichtlich, dass die Gravitationstaft, die von der Sonne ausgeht, ca. doppelt so groß ist, wie die Gravitationskraft, die von der Erde aus auf den Mond einwirkt. Das bedeutet, dass sich der Mond nicht um die Erde dreht, sondern wie die Erde ein Planet ist, der sich um die Sonne dreht!

Nun stellt sich allerdings die Frage, wie es sein kann, dass der Mond trotzdem um die Erde wandert, da schließlich genau das die Eigenschaft des Mondes ist, die man von der Erde aus beobachten kann?!

Abb. 2.10: Mond der Erde am 11.12.2013 18.20 MEZ

Foto: Jonas Endres und Leon Hoeborn

Diese Tatsache ist leicht zu erklären: Da der Mond trotz der hohen Gravitationseinwirkung der Sonne immer noch von der Erde angezogen wird, macht der Mond eine Art Schlangenlinie um die Sonne, da er von der Erde abgelenkt wird. Für uns sieht es dann so aus, als würde sich der Mond um die Erde drehen.
Des Weiteren fällt bei einer Auswertung der verschiedenen Gravitationskräfte auf alle anderen Monde in diesem Sonnensystem auf, dass nur der Mond der Erde von der Sonne angezogen wird. Dies liegt daran, dass die anderen Planeten, die Monde haben, weiter von der Sonne entfernt sind und daher die Kraft, die durch die Sonne ausgeübt wird, kleiner ist.

2.4 Grundlagen der Spektroskopie

In dem folgendem Kapitel wollen wir die Grundlagen der Spektroskopie darlegen. Wir werden auch im Einzelnen auf die Punkte eingehen, was Licht ist und wie es aufgebaut ist, wie man es durch Prismen und Gitter zerlegen kann sowie auf Spektren allgemein und deren Anwendung in der Wissenschaft und der Astronomie.

2.4.1 Zerlegung des Lichtes

Was wäre diese Welt nur ohne Licht? Alles basiert auf dem Licht, aber trotzdem wissen nur wenige Menschen Genaueres darüber. Das Licht begegnet uns überall im Alltag, ob es nun das Licht ist, welches uns morgens weckt oder das Licht, welches wir zum Lesen abends im Bett benutzen. Aber nun stellt sich hauptsächlich eine Frage: Was ist Licht?
Es gibt mehrere Theorien und Überlegungen darüber, was Licht eigentlich ist. Die wohl am stärksten verbreitete und am häufigsten anerkannte Idee ist, dass Licht aus Wellen besteht. Diese Theorie wurde von Huygens entwickelt. Die weitere Theorie wurde von Newton aufgestellt, und zwar dass das Licht aus kleinen Teilchen besteht. Aber welche ist nun richtig? „In sehr kleinen Dimensionen verhalten sich die Dinge wie nichts, von dem wir unmittelbare Erfahrung haben. Sie verhalten sich nicht wie

Wellen, nicht wie Teilchen . . . oder irgendetwas, was wir jemals gesehen haben“[11] , behauptete der Physiker und Nobelpreisträger Richard P. Feynman.

Die heutzutage am meisten anerkannte Theorie ist die Quantentheorie, die besagt, dass das Licht aus Quanten oder Photonen besteht. Eine Lichtquelle, wie beispielsweise die Sonne, liefert Energie. Darauf aufbauend stellte Einstein in seiner Lichtquantenhypothese Licht als eine Art Strom von Lichtquanten oder Photonen dar. Das Licht hat sowohl Wellen- als auch Teilcheneigenschaften, welche man an der Schwärzung einer Fotoplatte durch die auftreffenden Photonen, also auch an der Intensitätsverteilung des Lichtes an einer Wand zeigen kann.[12] Die genaue Darstellung und Erklärung der Quantenphysik ist aber kein Teil dieser Arbeit. Für unsere Arbeit reicht es, wenn wir vereinfacht davon ausgehen, dass das Licht mit Wellen beschrieben werden kann.

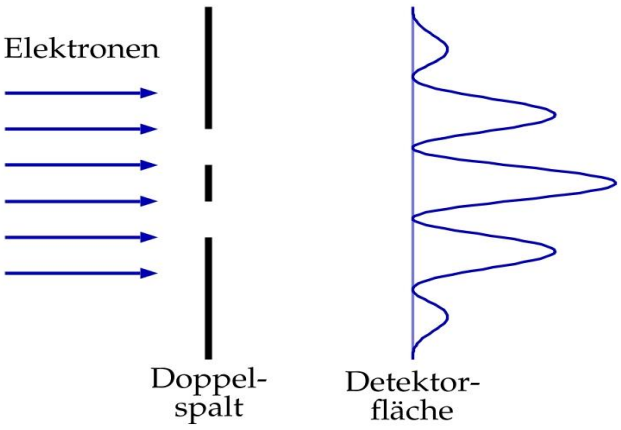


Abb. 2.11: Doppelspaltexperiment
Materialien: Michael Winkhaus, Herbstspektroskopiekurs

An dieser Stelle sei angemerkt, dass normalerweise die Einheit, in der die Wellenlängen gemessen werden, Nanometer heißt, aber meistens werden die Wellenlängen in Angström gemessen.[13]

[11] Physiker und Nobelpreisträger Richard P. Feynman, Wellen oder Teilchen, Aufgerufen am 11.05.2014, http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/quantenobjekt-elektron
[12] Springer, Taschenbuch der Mathematik und Physik, 4. Auflage, Quantenoptik
[13] Spektroskopievortrag, Michael Winkhaus, 23./24.11.2013 (Herbstspektroskopiekurs)

2.4.2 Spektren

Betrachten wir ein Lichtspektrum, so sind verschiedene Farben zu beobachten, die in Kategorien zusammengefasst werden können. In der einen sind die Farben des Lichtes von violett/blau bis hin zum rot. Das blaue Licht ist mit etwa 400nm eher kurzwellig, wohin gegen das rote Licht mit etwa 700nm eher langwellig ist. In diesem Spektrum von 400-700nm liegt das für uns sichtbare Licht.

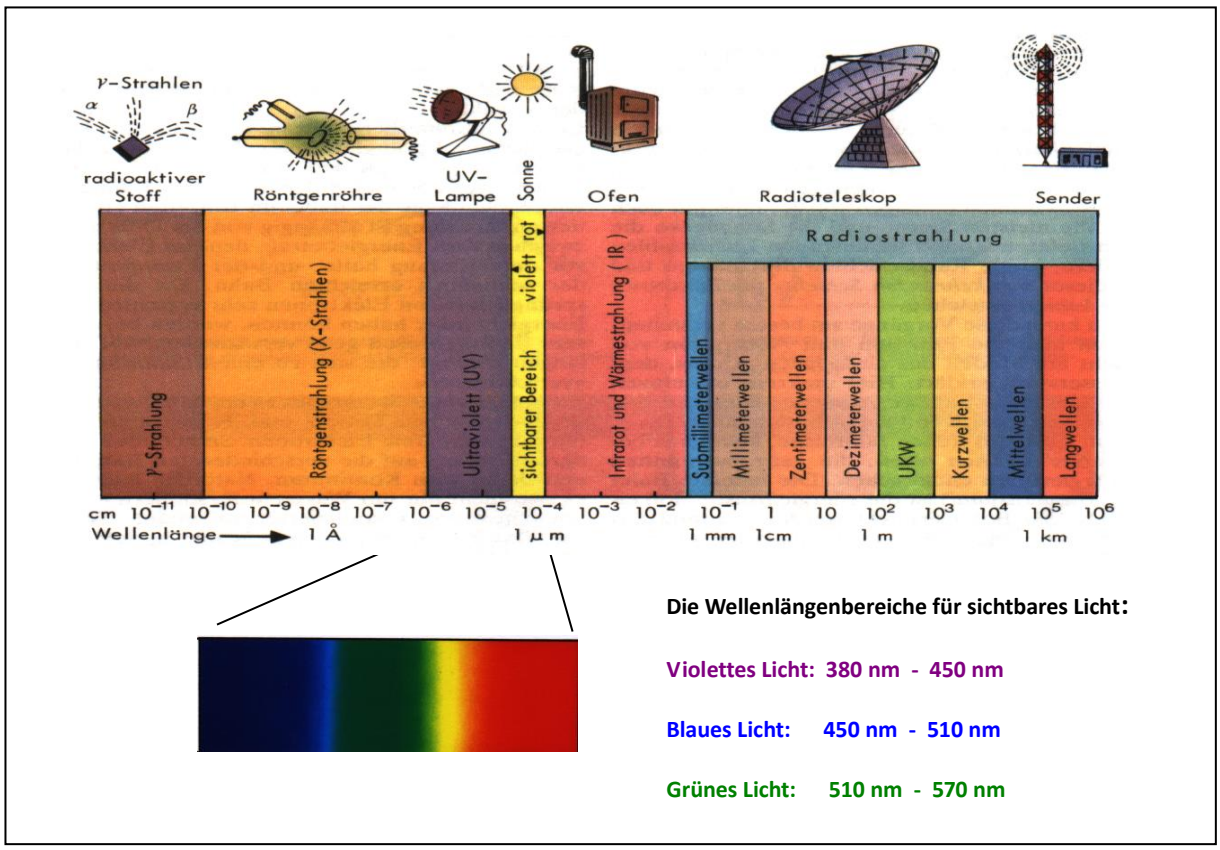


Abb.2.12: Wellenlängenbereich [13]

Natürlich gibt es noch weitere Strahlungen außerhalb dieses Spektrums. Nach dem violett/blauen Licht kommen die UV-, Röntgen- und Gammastrahlung. Nach dem roten Licht folgen die Infrarot-, Mikrowellen- und Radiowellenstrahlung. In einer weiteren Kategorie müssen wir das Licht nicht nur nach Farben, sondern auch nach

Energien unterteilen. Allgemein lässt sich sagen, dass das Licht mit kurzen Wellenlängen energiereicher ist als Licht mir längeren Wellenlängen.

Normalerweise entsteht Licht dann, wenn Elektronen Energie verlieren. Hierzu gibt es drei Fälle, die man unterscheiden muss:

1) gebunden-gebunden Übergänge
2) frei-frei Übergänge
3) frei-gebunden Übergänge

gebunden-gebunden Übergänge:
Der Vorgang des gebunden-gebunden Übergangs spielt sich nur im Inneren eines Atoms ab. Wie wir aus der Chemie schon kennen, befinden sich die Elektronen auf sogenannten Elektronenschalen, wo sie sich in Bahnen um den Atomkern bewegen. Wird nun eine bestimmte Energie hinzugeführt, so ‚springt' das Elektron von einer Bahn in eine weiter vom Kern entfernte Bahn. Innerhalb einer Nanosekunde springt das Elektron zurück in seine Bahn und setzt die aufgenommene Energie als Lichtenergie wieder frei. Umso mehr Energie aufgenommen wurde, desto hochenergetischer ist das Licht, welches freigesetzt wird.

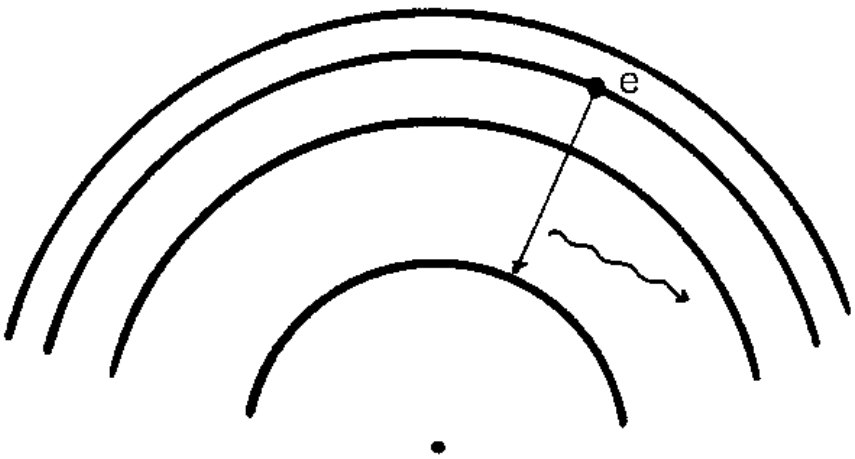


Abb. 2.13: gebunden-gebunden Übergänge
Material: Michael Winkhaus, Herbstspektroskopiekurs

frei-frei Übergänge:

Bei den frei-frei Übergängen handelt es sich um ein sogenanntes freies Elektronengas, welches von einem Pluspol angezogen wird. Bei diesem Vorgang kommen die Elektronen extrem dicht aneinander, so dass Reibung entsteht und Energie in Form von Lichtenergie freigesetzt wird. Hier gilt genau wie im vorigen Übergangsmodell, umso mehr Energie freigesetzt wird, desto energetischer, also bezogen auf die Wellenlängen kürzer, ist das Licht.

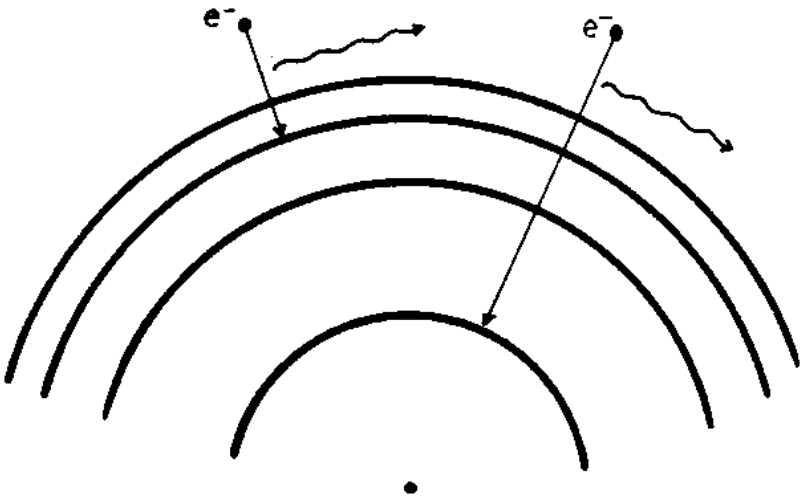


Abb. 2.14: frei-frei Übergänge
Material: Michael Winkhaus, Herbstspektroskopiekurs

frei-gebunden Übergänge:

Der frei-gebunden Übergang ist eine Kombination aus den zwei anderen Modellen. Hier werden freie Elektronen von Atomen sozusagen eingefangen und auf Elektronenbahnen geleitet. Hierbei geben die Elektronen ihre überschüssige Energie in Form von Lichtenergie ab. Wie auch in den anderen Modellen ist hier die Menge wichtig, denn sie bestimmt die Wellenlänge des Lichtes.

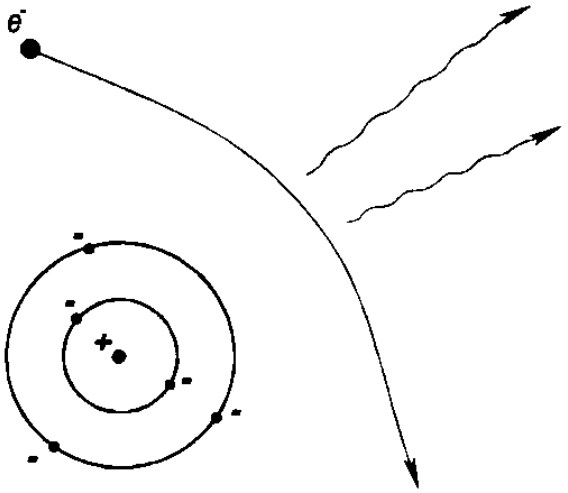


Abb. 2.15: frei-gebunden Übergänge
Material: Michael Winkhaus, Herbstspektroskopiekurs

Für uns im Projektkurs Astronomie sind jedoch nicht alle Wellenlängenbereiche wichtig, denn es kommen gar nicht alle bei uns auf der Sternwarte an. Die Erdatmosphäre lässt nämlich nur das sichtbare Licht und Teile der Infrarot- und Radiowellenstrahlung durch. Die anderen Wellenlängenbereiche müssen wir mit Satelliten oder Raumsonden erfassen, da diese sich höher und meistens außerhalb der Erdatmosphäre befinden.

Nun stellt dich die Frage, wie man das ankommende Licht ‚spalten' kann, um es zu analysieren. Es gibt zwei übliche Methoden, zum einen mit Hilfe eines Plasmas und zum anderen mit Hilfe eines Gitters.

Es stellt sich nun die Frage, wie es zur Lichtbrechung kommt. Wie schon weiter oben beschrieben, ist Licht mit verschiedenen Wellenlängen auch unterschiedlichen Energiebereichen zugeordnet. Dies hat zur Folge, dass sich Licht unterschiedlich schnell in verschiedenen Materialien bewegt. Für jedes Medium gibt es einen bestimmten Brechungsindex. Dabei ist es wichtig, dass der Brechungsindex wellenlängenabhängig ist, also $n = n(\lambda)$. Also bewegt sich violettes Licht mit kleinerer Wellenlänge schneller in einem Medium als rotes Licht mit einer großen Wellenlänge. Daraus folgt auch, umso schneller das Licht ist, desto größer ist der Brechungswinkel. Dieses Naturphänomen nutzt man nun bei einem Prisma, um das

weiße Licht in seine unterschiedlichen Farben zu zerlegen. Wenn man nun ein weißes Blatt Papier hinter das Prisma hält, sieht man die einzelnen Farben des Lichtes.

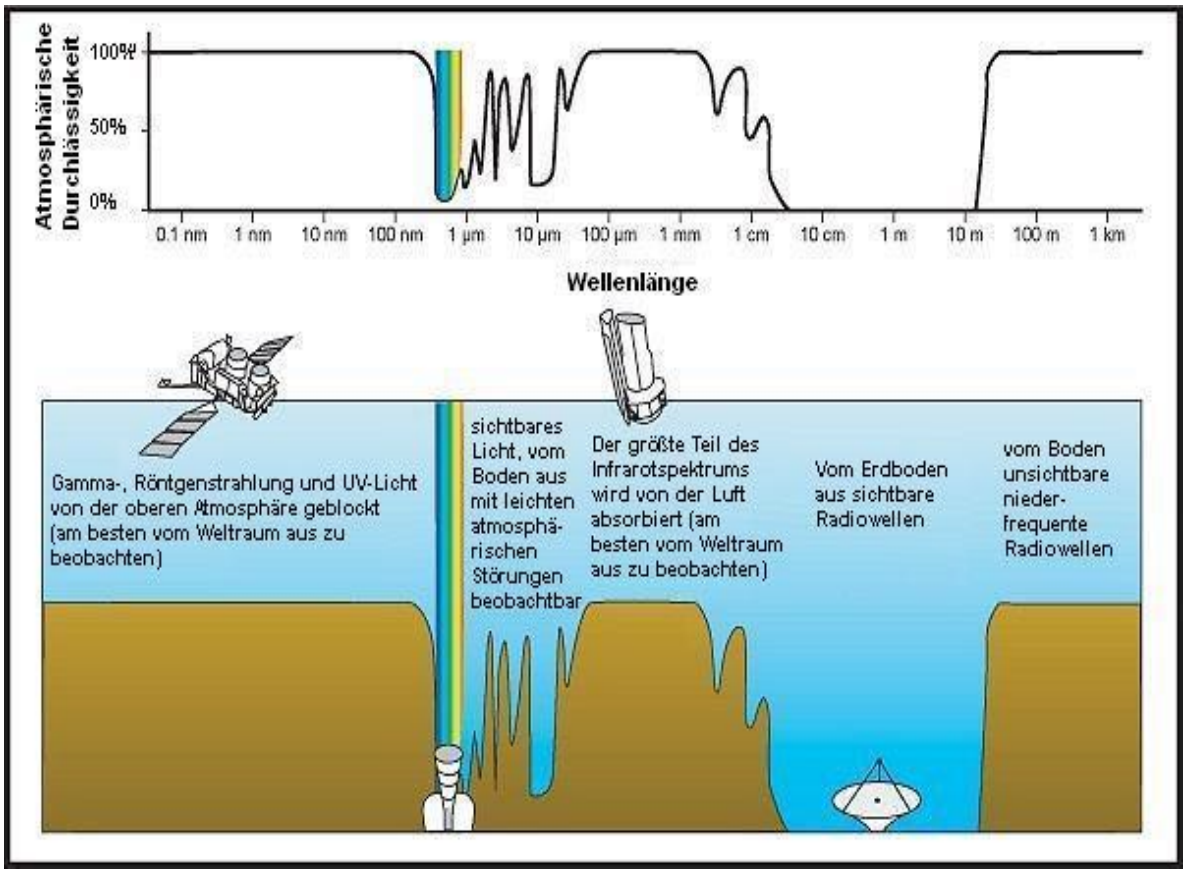


Abb. 2.16: Atmosphäre Durchlässigkeit

Material: Michael Winkhaus, Herbstspektroskopiekurs, Durchlässigkeit der Erdatmosphäre

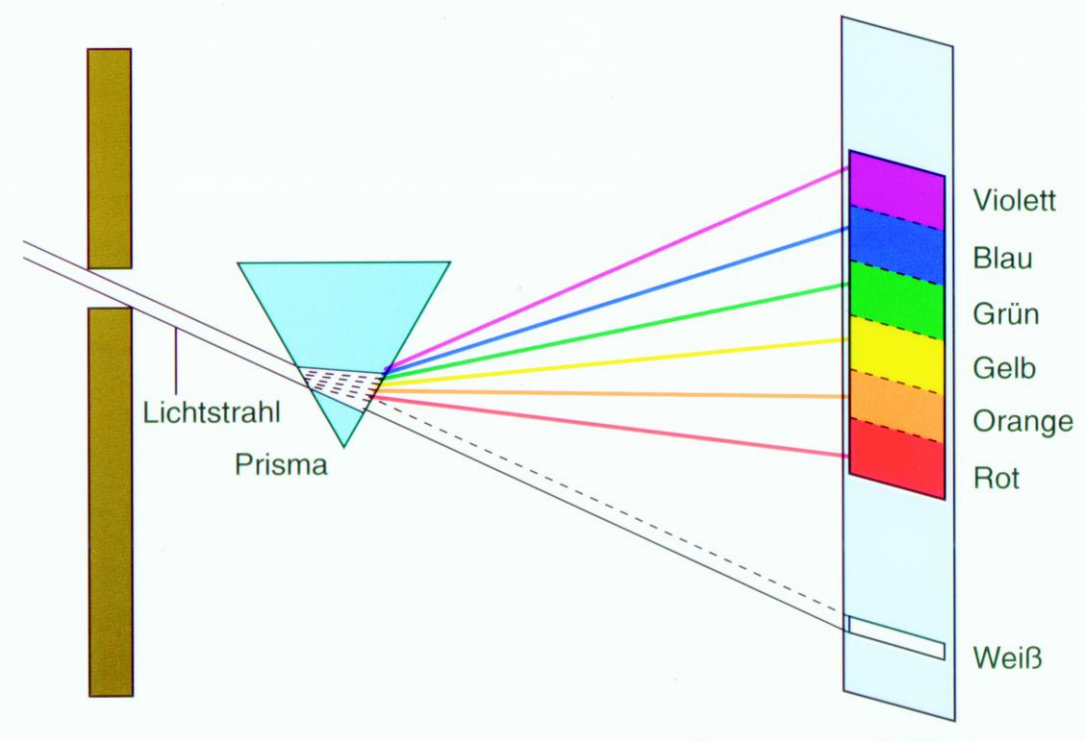


Abb. 2.17: Zerlegung des Lichtes mit Hilfe eines Prismas
Material Michael Winkhaus, Herbstspektroskopiekurs, Der Prismenspektrograph

Die zweite und durchaus gängige Methode zur Brechung des Lichtes ist mit Hilfe eines Gitters. Hier wird das Licht nicht wie beim Prisma zerlegt, sondern gebeugt. Um noch zu verstehen, wie das Licht mit Hilfe eines Gitters zerlegt werden kann, muss man sich wieder Licht als eine Welle vorstellen und man muss wissen, was passiert, wenn sich Lichtwellen überlagern. Diese Überlagerung wird auch als Interferenz bezeichnet.

Es gibt zwei extreme unterschiedliche Effekte bei der Interferenz:

- konstruktive Interferenz
- destruktive Interferenz

konstruktive Interferenz:

Bei der konstruktiven Interferenz handelt es sich um die Addition von Wellen. Dabei ist es wichtig, dass Wellen mit identischen Eigenschaften, sich phasengleich, also

wenn Hoch- und Tiefpunkte der Wellen genau übereinander liegen, überlagern und sich somit addieren oder anders gesagt, sich verdoppeln. Zum Beispiel würde das Licht doppelt so hell leuchten oder die Musik durch die Schallwellen doppelt so laut sein.

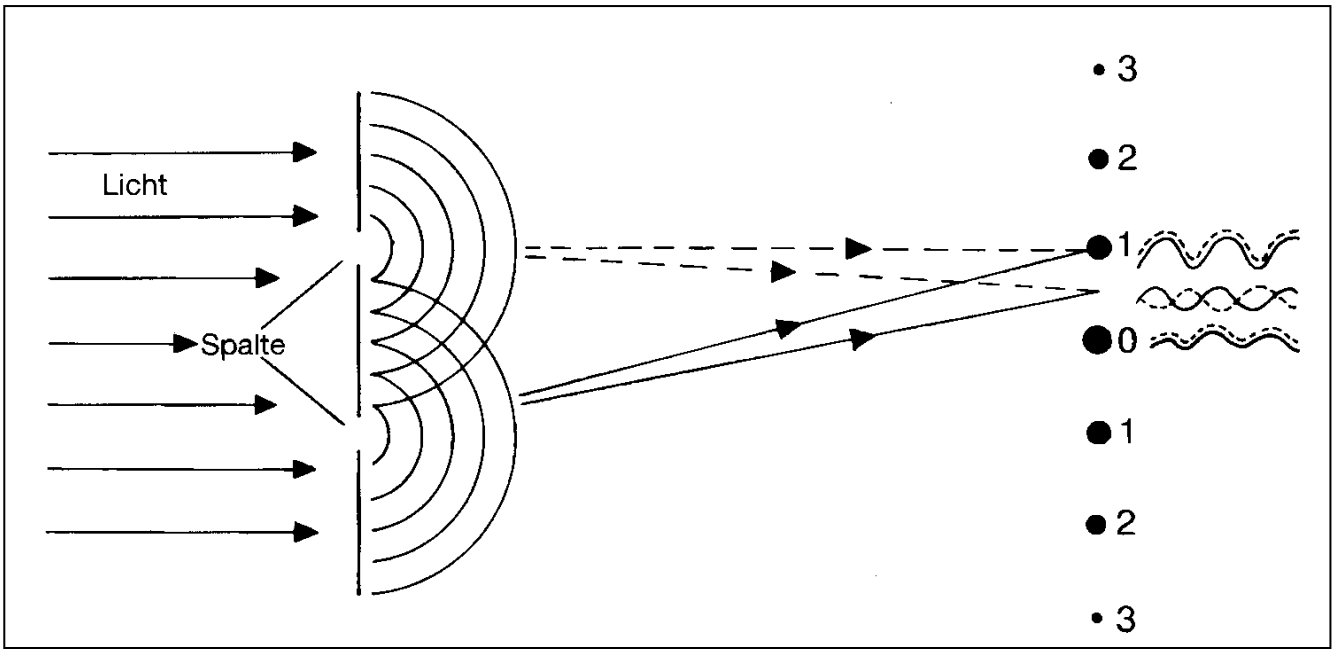


Abb.2.18*:* Zerlegung des Lichtes mit Hilfe eines Gitters
Material Michael Winkhaus, Herbstspektroskopiekurs, Der Gitterspektrograph

destruktive Interferenz:

Hier geht man von dem genauen Gegenteil aus. Wenn sich zwei Wellen, während sie gegenphasig schwingen, überlagern, so heben sie sich gegenseitig auf, z.B. lautlose Musik.

Wenn nun Licht durch eine Platte mit winzigen Spalten (Gitter) fällt, sieht man auf der Wand hinter der Platte Lichtstreifen, aber auch dunkle Abschnitte. Dies entsteht dadurch, dass bestimmte Lichtwellen an den hellen Stellen phasengleich schwingen und sich daher addieren. An den dunklen Stellen schwingen zwei Wellen gegenphasig und heben sich daher auf. Das Licht, was nun aus den einzelnen Spalten konstruktiv interferiert, projiziert jeweils ein

Spektrum. Je mehr Spalte man verwendet, desto schärfer wird das Spektrum abgebildet. Der Unterschied, der zwischen dem Gitter-Spektrum und dem Prismen-

Spektrum sofort auffällt, ist, dass bei dem Gitter die Farben von links rot bis rechts blau verlaufen und bei dem Prisma genau anders herum.
Nachdem die wesentlichen Arten der Erzeugung von Spektren erläutert wurden, soll nun noch kurz auf die unterschiedlichen Arten eingegangen werden. Es gibt hauptsächlich drei verschiedene Arten von Spektren:

- kontinuierliches Spektrum
- Emissionslinienspektrum
- Absorptionslinienspektrum

kontinuierliches Spektrum:
Hierbei handelt es sich um ein Spektrum, bei dem die Farben fließend übergehen, bei dem sich also keine Lücken oder ähnliches zwischen den Farben befinden. Ein Beispiel eines solchen Spektrums ist das Spektrum einer LED.
Emissionslinienspektrum:
Bei diesem Spektrum handelt es sich um ein Spektrum mit bestimmten Wellenlängen, deshalb sind nur einzelne Farben mit dunklen Lücken dazwischen. Ein Beispiel eines solchen Spektrums ist das Spektrum von leuchtenden Gasen.
Absorptionslinienspektrum:
Hierbei handelt es sich um ein kontinuierliches Spektrum mit dunklen Linien. Solche Spektren entstehen z.B., wenn ein heißes Gas durch ein kühleres Gas hindurch muss, daher kommen bei dem Spektrum nur bestimme Wellenlängen an. Ein Beispiel eines solchen Spektrums ist das Spektrum eines Sternes.

Diese theoretischen Grundlagen der Spektroskopie wenden wir nun an, um genauestens die aufgenommenen Spektren von Mond und Sonne zu verstehen und analysieren zu können.

3. Praktische Ausrüstung

Im Folgenden wollen wir die Sternwarte des CFGs vorstellen und im Weiteren die zur Verfügung stehenden Gerätschaften, insbesondere die, die wir für unsere Projektarbeit benötigt haben.

3.1 Allgemeine Ausrüstung der Sternwarte

Die Sternwarte des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums wurde am 30. Oktober 2009 gegründet und bietet seitdem vor allem den Teilnehmern des Astronomie-Projektkurses, aber auch anderen Schülern und Studenten sowie externen Besuchergruppen die Möglichkeit, den Nachthimmel auf professionelle Art zu erforschen. Dieses Projekt wurde von Dipl.-Mathematiker und Physiker Michael Winkhaus initiiert, der sich um den Bau und den Erwerb der nötigen Gelder und Spenden kümmerte, und nun mit Diplom-Physiker Bernd Koch diese Anlage betreut.

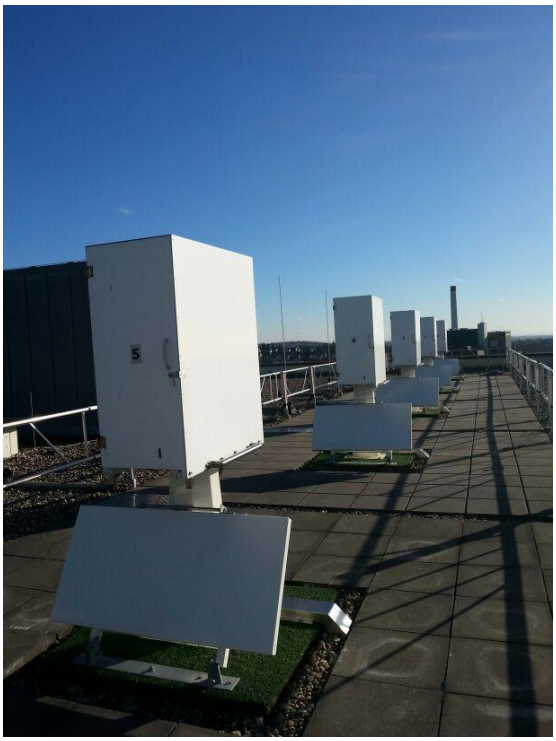


Abb.3.1: Inseln der Sternwarte

Foto: Leon Hoeborn und Jonas Endres

Diese Sternwarte befindet sich auf dem Dach unserer Schule und besteht aus sieben Inseln, die alle in der Nord-Süd-Achse angeordnet sind. Sechs dieser Inseln befinden sich im Freien und bieten die Möglichkeit zur Montage verschiedener Teleskope (z.B. Petax 75). Zu jeder dieser Inseln gehört zusätzlich ein eigener Wagen, der über Laptops, Kameras (z.B. Eos 450d und AlCCd), zahlreiche Okulare, Filter und vieles mehr verfügt, so dass die Inseln entsprechend der Fragestellung und Zielsetzung individuell und optimal

ausgestattet werden können. Zudem kann man zusätzlich den Dados-Spektrographen anbringen, der es ermöglicht, wie in unserem Fall, an jeder Insel Spektren aufzunehmen. Da gerade die langen Abende im Winter, die sehr kalt und windig waren, sich perfekt für die Aufnahmen unserer Spektren eigneten, mussten wir oft -mit vielen Kleidungsschichten und einer Stirnlampe- zitternd vor unserer Insel stehen und arbeiten. Glück hatten die Personen, die an der siebten Insel arbeiten durften. Diese ist eine separate Insel, die in einem eigenen Raum mit aufschiebbarem Dach steht und mit einem festmontierten 12,5 Zoll-Newton-Cassegrain-Teleskop ausgestattet ist. Zudem ist sie mit einem Aufenthaltsraum verbunden, von dem man das Teleskop wettergeschützt über drei Computer steuern kann. Der Aufenthaltsraum bot uns allen zudem jeder Zeit eine Couch, auf der man sich mit einem Tee wieder aufwärmen konnte.

3.2 Astrofotografie

Bei der Astrofotografie gibt es einige Punkte, die man beachten muss, um erfolgreiche Astrofotos zu erhalten. Das Wichtigste ist die richtige Ausrüstung! Wir haben bei unseren Mondaufnahmen mit folgenden Geräten gearbeitet:

Canon EOS 450D[14]

Tabelle 3.1: Technische Daten

Eos 450D	**Bezeichnung**
4272 x 2848	Pixelzahl
12,2	Megapixel
5,2µm	Pixelgröße
22.2mm x 14,8mm	Chipgröße
26,7mm	Chipdiagonale

[14] www.astrofoto.de Zugriff 28.05.2014

Pentax 75

Abb. 1.2 : Pentax 75 SDHF
Foto: Leon Hoeborn

„Der Pentax 75 SDHF ist ein fotografisch voll korrigierter APO. Er ist ein dreilinsiges System mit ausgezeichneter Korrektur auf der Achse und im Feld. Die dritte Linse ist als Bildfeldebnungslinse ausgeführt. Die Öffnung des Gerätes ist 75mm und die Brennweite 500mm. Er ist ein wirklich kompaktes Allroundmodell für Amateurastronomen.“[15]

Laptop

Der Laptop war uns eine große Hilfe, da wir durch ihn mit Hilfe des Programms *eos utility* unsere Geräte bedienen konnten, und sogar kleinste Einstellungen kein Problem waren.

Celestron 11 EdgeHD[16]

Abb. 3.3: Celestron 11 EdgeHD
Foto: Leon Hoeborn

Die Celestron Edge HD gehört zu den aplanatischen Schmidt-Teleskopen, die für ein fehlerfreies und geebnetes großes Gesichtsfeld für die Astrofotografie produziert wurden.

Tabelle 3.2 Technische Daten

Öffnung	280mm
Brennweite	2800mm

[15] http://www.naturbeobachtung.com Zugriff 15.04.2014
[16] http://www.teleskop-express.de Zugriff 15.4.2014

Öffnungsverhältnis	f/10
Maximal sinnvolle Vergrößerung	661x
Grenzgröße	14m7
Auflösung	0,41"
Abschattung durch den Fangspiegel	95,25mm (34%)
Tubuslänge	609mm
Gewicht	12,7kg

FFC (Fringe-Killer—Filter)

„Der Fringekiller blockt etwa ein Drittel des blauen Lichts. Die Transmission in Rot und Grün ist 100%. Der Lichtverlust über das gesamte Spektrum liegt bei nur etwa 12%. Der Semi-Apo blockt im Blau und Rot mehr als 25%. Im Grün ist der Anteil geringer, trotzdem gehen über das gesamte Spektrum etwa 30% Licht verloren. Dafür werden die Farben bis auf einen leichten Grünstich wieder neutral. Fotografisch kostet der Semi-Apo-Filter etwa eine halbe Blendenstufe.“[17]

[17] www.astrshop.de Zugriff 15.04.2014

3.3 Spektroskopie

Unsere Spektrenaufnahmen haben wir mit Hilfe des von Baader-Planetarium entwickelten DADOS-Spektrographen gemacht. Dieser funktioniert folgendermaßen: Das Licht des zu fotografierenden Objekts (in unserem Fall das Licht des Mondes/ der Sonne) fällt durch eine Öffnung in den ersten Würfel, in dem sich ein Spiegel befindet, der das Licht in das Nachführokular wirft, wodurch wir dann das zu treffende Objekt genau anpeilen können. Im Fall der Sonne war dieser Schritt nicht nötig, da es ausreicht, wenn man einen Bereich spektroskopiert, der von der Sonne angestrahlt wird, wir haben in unserem Fall den Tageshimmel gewählt. In dem ersten Würfel befinden sich zudem Spalten, durch die das Licht weiter in das Kollimatorobjektiv geleitet wird. Dieses Kollimatorobjektiv richtet das Licht parallel aus und leitet es weiter in den zweiten Würfel, in dem es auf das Blazegitter fällt und dort in das Spektrum aufgespalten wird. Dieses kann nun von einer Kamera (z.B. CCD Kamera) aufgenommen werden.

Abb. 3.4: DADOS-Spektrograph
Foto: Leon Hoeborn

Den DADOS-Spektrographen kann man an verschiedene Teleskope wie dem Pentax 75 oder der Celestron 11 EdgeHD anschließen (siehe 3.2).

CCD Kamera STF-8300M

Für unsere Aufnahmen der Spektren haben wir die CCD Kamera STF-8300M von SBIG benutzt.

Abb. 3.5: CCD Kamera, SBIG, STF-8300M
www.astronomics.com

3.4 Software

Um gute Mond-Sonnen-Spektren bzw. Mond-Sonnen-Fotos aufnehmen zu können, sind eine sorgfältige Planung und Vorbereitung erforderlich. Dabei helfen einige Programme wie zum Beispiel:

1. *NightCal* ist ein Kalender, der anzeigt, welche Mondphase an welchem Tag zu sehen ist. Dadurch konnten wir schon Wochen vorher festlegen, wann wir unsere Mondfotos bzw. Mondspektren aufnehmen. Zusätzlich musste noch der Wetterbericht im Auge behalten werden, da bei bewölktem Himmel Aufnahmen meist nicht möglich sind.
2. *Stellarium* ist ein Programm, mit dessen Hilfe man herausfinden kann, welches Himmelsobjekt wo am Himmel zu finden ist, da es einen digitalen Rundumblick von der Erde aus ermöglicht. Für uns war dieses Programm nicht erforderlich, da unsere Objekte –Sonne und Mond - meist nicht zu übersehen waren.
3. *NiteView* ist ein Programm, das den Bildschirm des Laptops für die Arbeit bei Nacht anpasst. Das ist außerordentlich wichtig, da die Lichter des Displays die Aufnahmen oftmals verfälschen können.
4. *EOS Utility* ist ein Programm, durch das man die am Teleskop angeschlossene Kamera (z.B. EOS Cannon 450D) steuern kann, dies vereinfacht die Arbeit bei Dunkelheit erheblich.
5. *FS Capture* ist ein Programm, mit dessen Hilfe Screenshots vom Display des Laptops gemacht werden können. Dies erleichtert das spätere Nachvollziehen von verschiedenen Schritten der Bearbeitung.

4. Eigene Aufnahmen von Mond und Sonne mit Auswertung

In dem folgenden Kapitel beschreiben wir, wie wir unsere Aufnahmen von Sonne und Mond erstellt und bearbeitet haben.

Abb. 4.1: Einzelne Mondbilder mit unterschiedlichen Belichtungen 11.12.2013; 18.19 u.18.22 MEZ
Foto: Leon Hoeborn und Jonas Endres

4.1 Mondmosaik

Um ein Mondmosaik erstellen zu können, muss man als erstes kleinere Abschnitte des Mondes aufnehmen. Wir haben unser Mosaik in zwei Teilabschnitte des Mondes aufgeteilt; generell gilt, je kleiner man die Teilmosaike wählt, desto schärfer und damit auch schöner wird das spätere Komplettbild des Mondes. Unsere Aufnahmen haben wir mit der Canon EOS 450D, angeschlossen an der Pentax 75, gemacht. Dabei haben wir von jedem Teilabschnitt möglichst viele Bilder gemacht, um im Anschluss die besten zwei auswählen zu können (Abb. 4.1). Unsere zwei Einzelbilder (Teilabschnitte) des Mondes haben wir daraufhin mit Hilfe von Photoshop zu einem Mosaik zusammengesetzt. Dabei sucht das Programm bestimmte Stellen oder Merkmale wie z. B. einen Mondkrater oder ähnliches heraus, die auf beiden Einzelbildern vorhanden sind, und legt diese übereinander, so dass ein hoch aufgelöstes Foto des kompletten Mondes entsteht.

Dabei geht man folgenderweise vor:

Als erstes öffnet man die beiden Bilder in dem Programm Photoshop, indem man unter Datei → Automatisieren → Photomerge und den Einstellungen Auto die zwei Bilder öffnet.

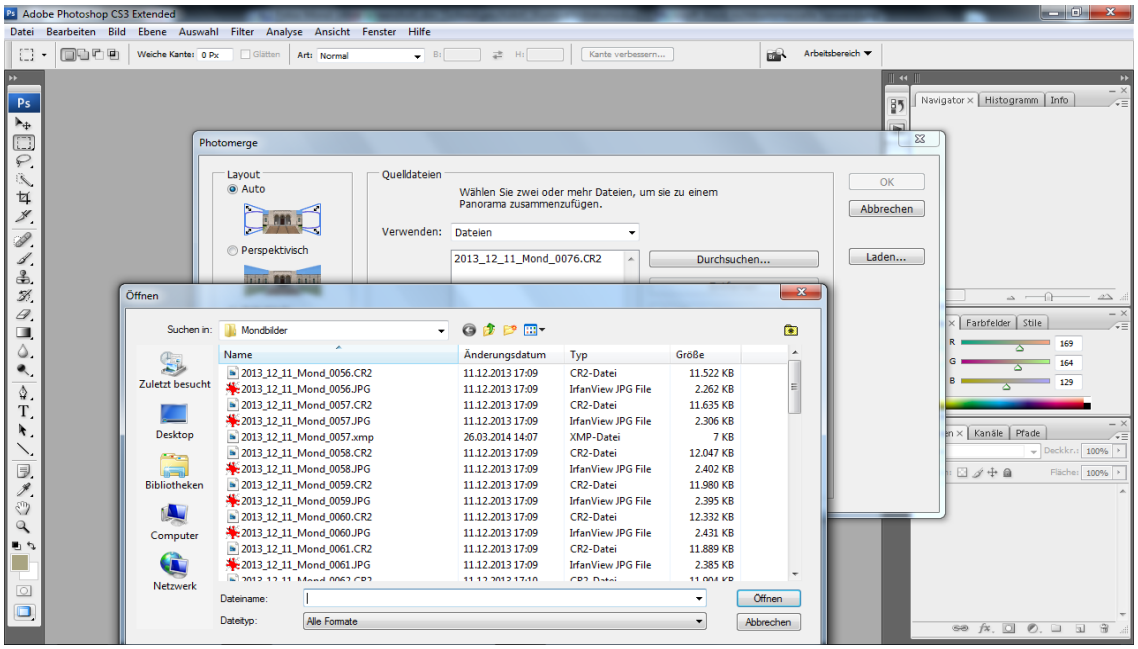


Abb. 4.2: Einfügen der Bilder
Screenshot: Leon Hoeborn und Jonas Endres

An dieser Stelle der Bearbeitung hatten wir dann zwar schon ein fertiges Mondmosaik, doch um es so darzustellen, wie der Mond in der Realität aussieht, mussten wir noch weitere Arbeitsschritte durchführen, um ein besseres Endergebnis zu erhalten.

Zum einen konnten wir wieder mit Hilfe von Photoshop Schärfe, Helligkeit, Kontrast, Sättigung etc. einstellen und verändern, wodurch schon starke Unterschiede zum vorherigen Bild feststellbar sind, da man die Mondflecken und Konturen deutlicher erkennen kann. Dazu muss man als nächstes mit Hilfe der Tastenkombination Strg Alt Shift E die beiden Fotos auf eine Ebene reduzieren. Diese reduziert man wiederum unter Rechtsklick auf den Hintergrund.

Nun kann man mit der Tastenkombination Strg L die Tonwertkorrektur verändern, indem man mit einer Pipette die dunkleren Stellen des Mondes anklickt und unter der Rubrik Farbe darauf achtet, dass Rot, Grün und Blau ca. auf der gleichen Höhe liegen.

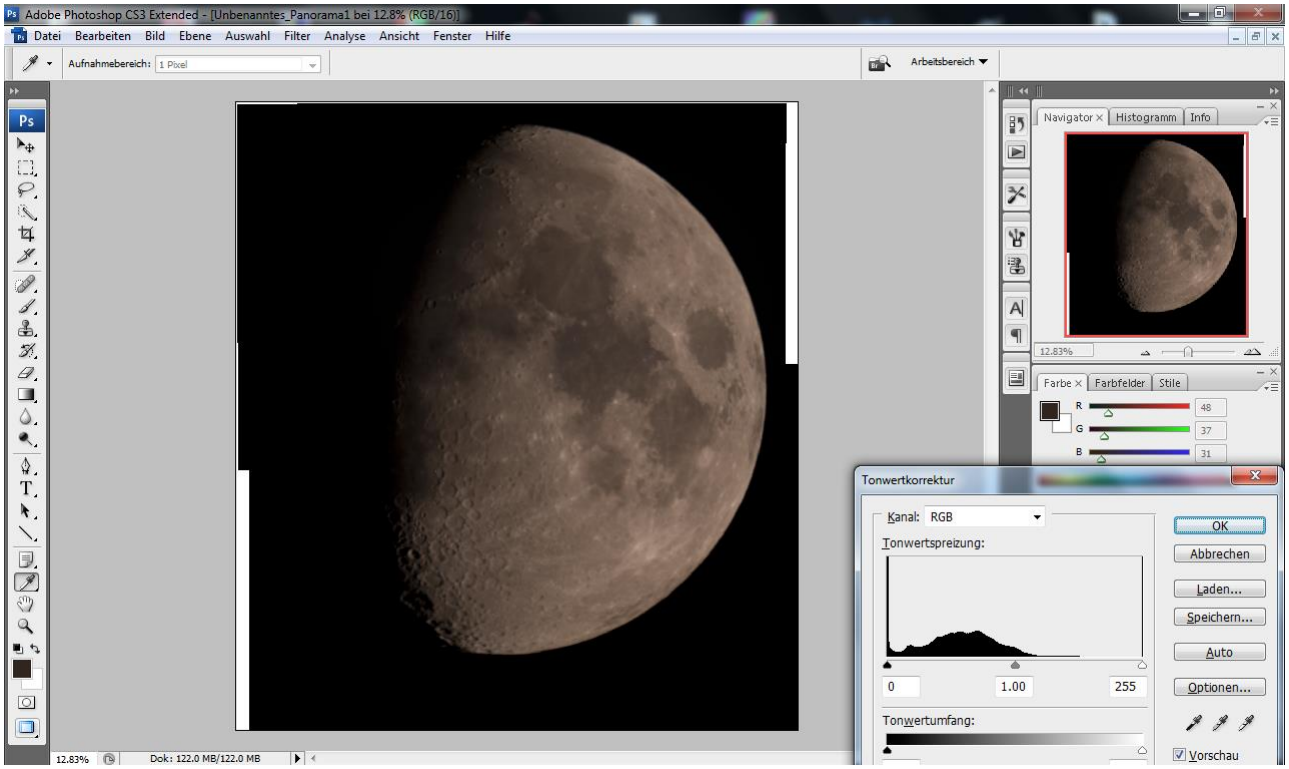


Abb.4.3: Tonwertkorrektur
Screenshot: Leon Hoeborn und Jonas Endres

Als nächsten Schritt verändert man die Sättigung, indem man die Tastenkombination Strg U drückt und die Sättigung auf +50 verändert. Nun drückt man diese Tastenkombination (Strg U) noch einmal und senkt die Rottöne (Abb. 4.4).

Dann haben wir die Farben angepasst, da durch die Atmosphäre und auch ein Teil durch die Kamera verfälscht wird, dazu drückt man die Tastenkombination Strg b und kann dann die gewünschten Einstellungen verändern (Abb. 4.5).

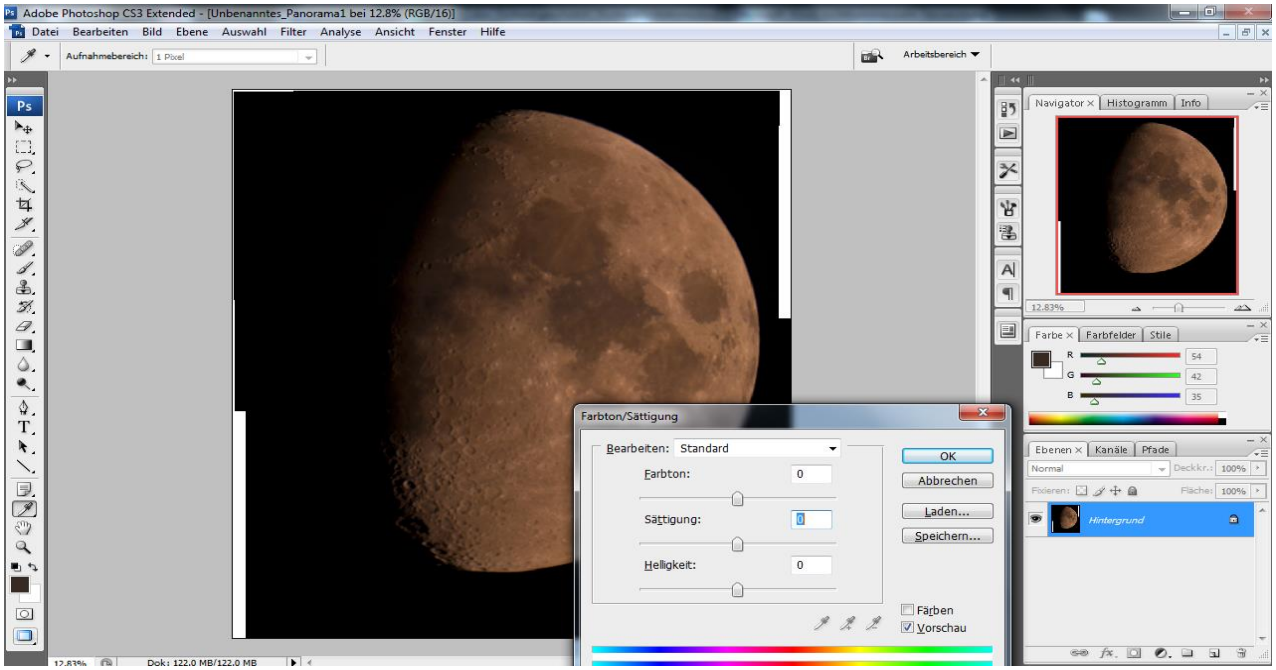


Abb.4.4: Farbton/ Sättigung

Screenshot: Leon Hoeborn und Jonas Endres

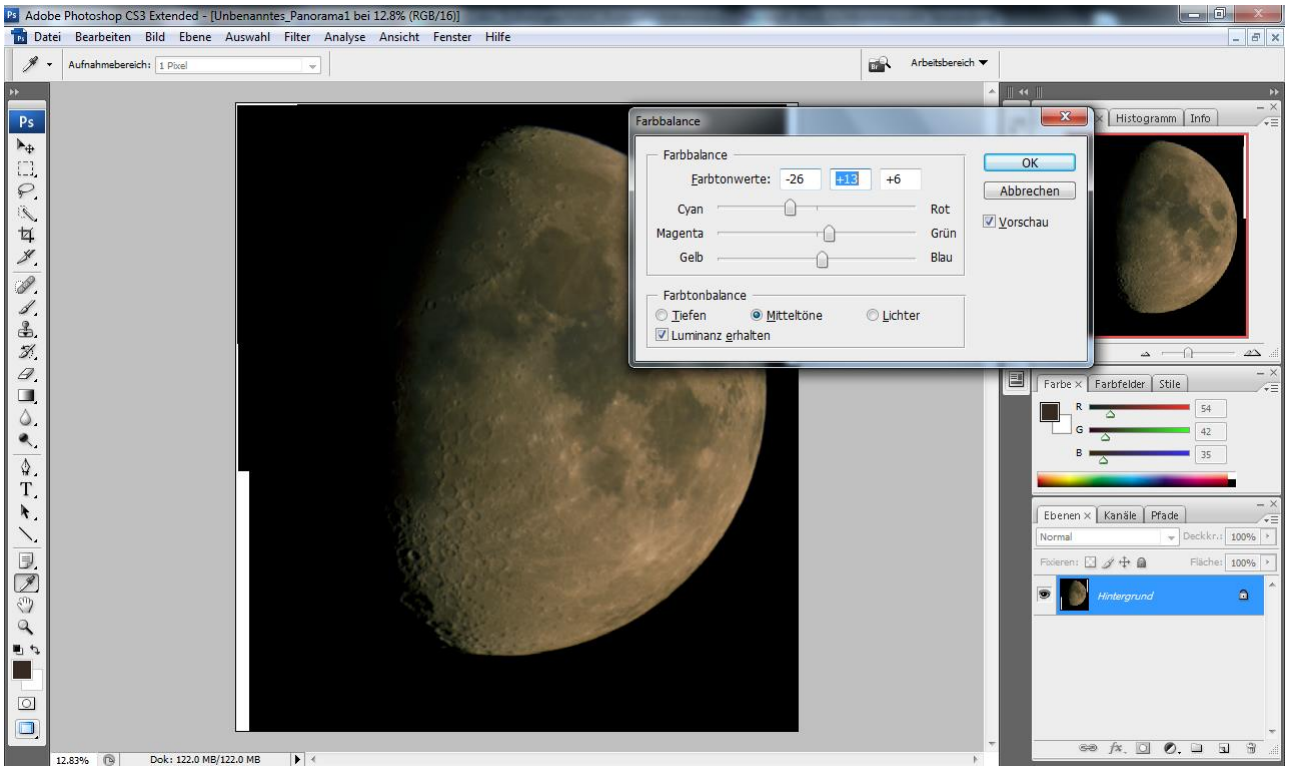


Abb. 4.5: Farbbalance

Screenshot: Leon Hoeborn und Jonas Endres

Als nächstes haben wir noch einmal mit der Tastenkombination Strg u die Sättigung angepasst, indem wir die Cyantöne heruntergezogen haben und durch ein erneutes Öffnen der Sättigungseinstellungen die Sättigung erhöht haben. Bei diesem Schritt half unser Projektkurslehrer Bernd Koch.

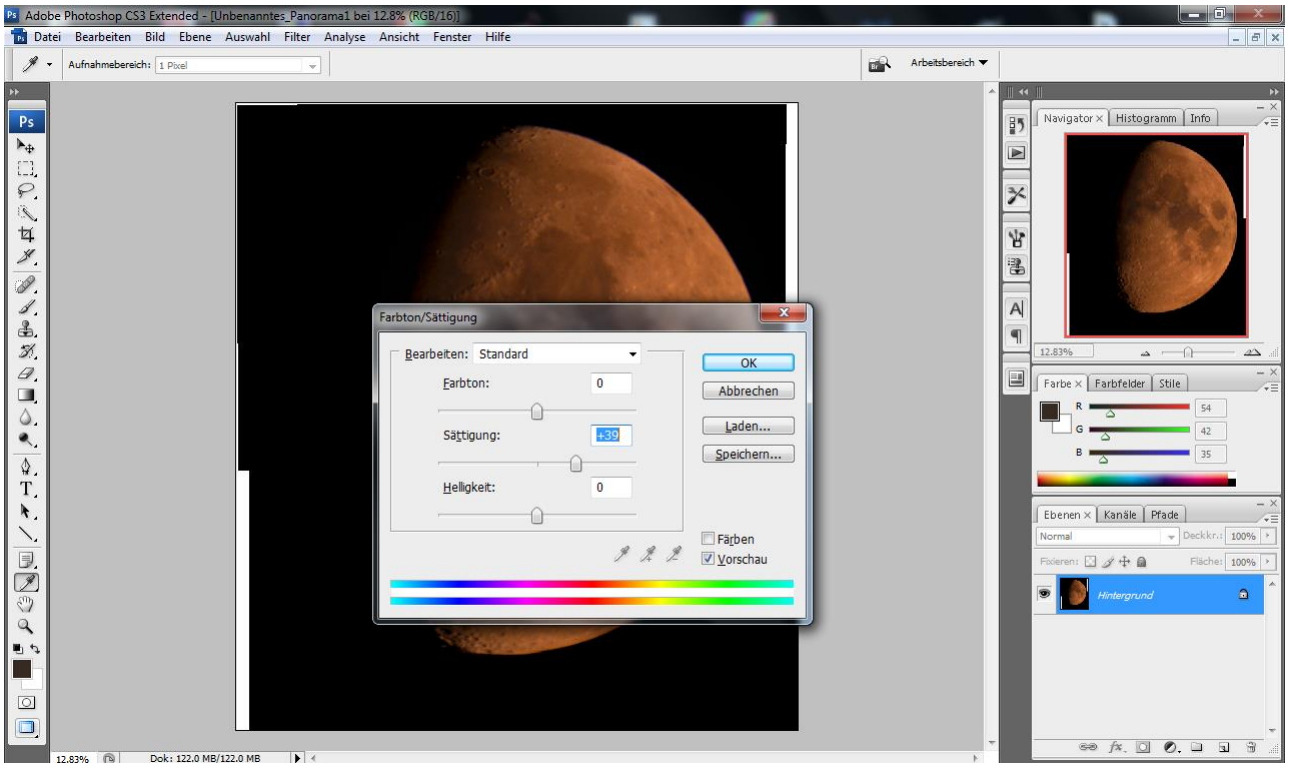


Abb.4.6: Wiederholten Sättigungseinstellungen
Screenshot: Leon Hoeborn und Jonas Endres

Im folgenden Schritt haben wir das Bild geglättet, indem wir das Rauschen reduziert haben. Dazu geht man über Filter → Rauschfilter→ Rauschen reduzieren und kann nun die nötigen Einstellungen eingeben: Details erhalten stellt man auf 0%, Farbstörung reduzieren auf 100% und Details scharfzeichnen auf 25%.

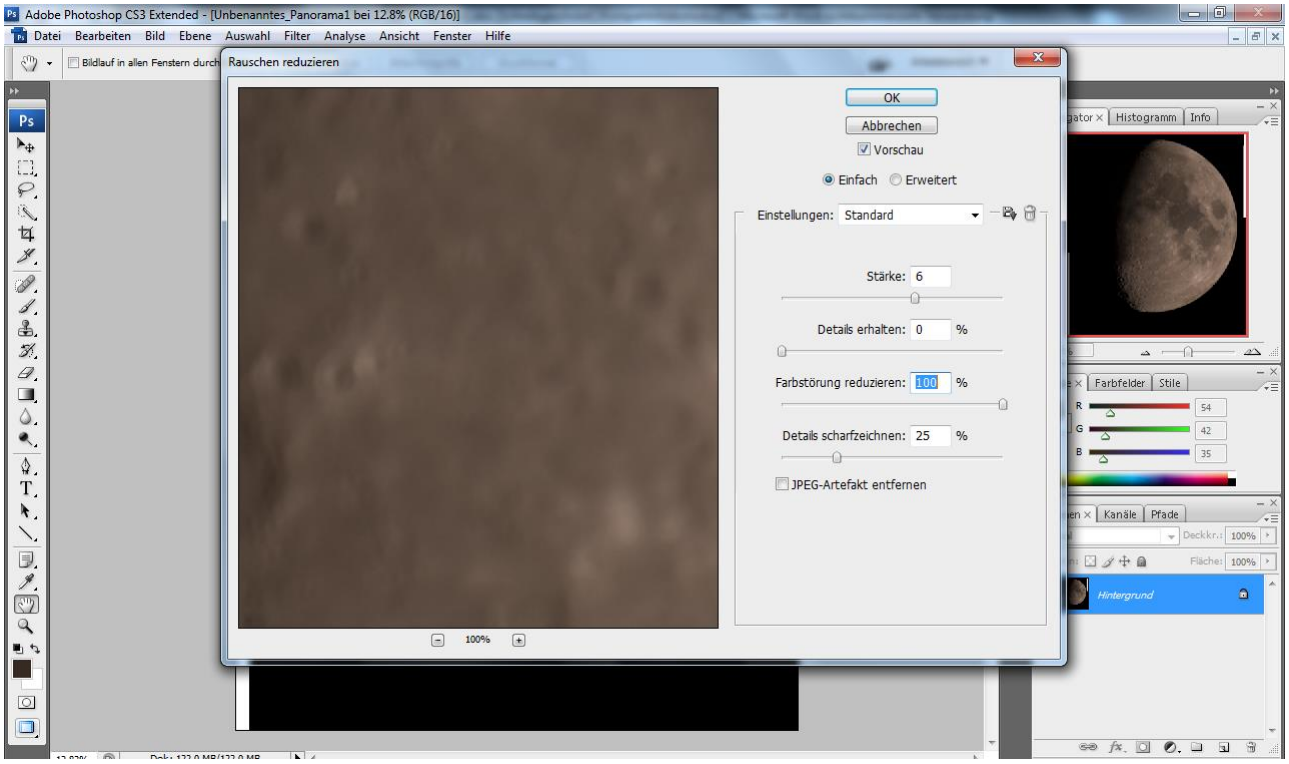


Abb.4.7: Rauschen reduzieren
Screenshot: Leon Hoeborn und Jonas Endres

Nach diesem Schritt war unser Mondmosaik soweit fertig und wir konnten es abspeichern. Das bearbeitete Mondmosaik (Abb. 4.8) stellt eine sehr schöne Aufnahme des Mondes dar. In Abb.4.9 ist dieses Foto mit Titulierung der Mare sowie den Stoffe aus dem Mare Tranquilitatis besteht. In einer Projektarbeit aus dem Jahr 2010/2011 haben sich Laurenz Sentis und Jonas Niepmann[18] intensiv mit vorkommenden Stoffen, die durch die Farben der Mondoberfläche definiert sind, auseinandergesetzt. Da wir unsere Mondspektren nicht von den abgebildeten Maren erhoben haben, können wir durch unsere Daten keine Stoffbestimmung der Ablagerungen durchführen. Hauptsächlich bestehen Mare aus dunklen Basalten, die durch schnelles Abkühlen flüssiger Lava entstanden sind. Sie enthalten Magnesium Eisen und Titan.

[18] http://www.astrofoto.de/Kurse/Facharbeiten/Mondspektroskopie%20Sentis%20-%20Niepmann%202011.pdf Zugriff: 04.01.2014

Abb.4.8: Bearbeitet Mondmosaik
Foto: Jonas Endres und Leon Hoeborn 11.12.2013 18.20 MEZ

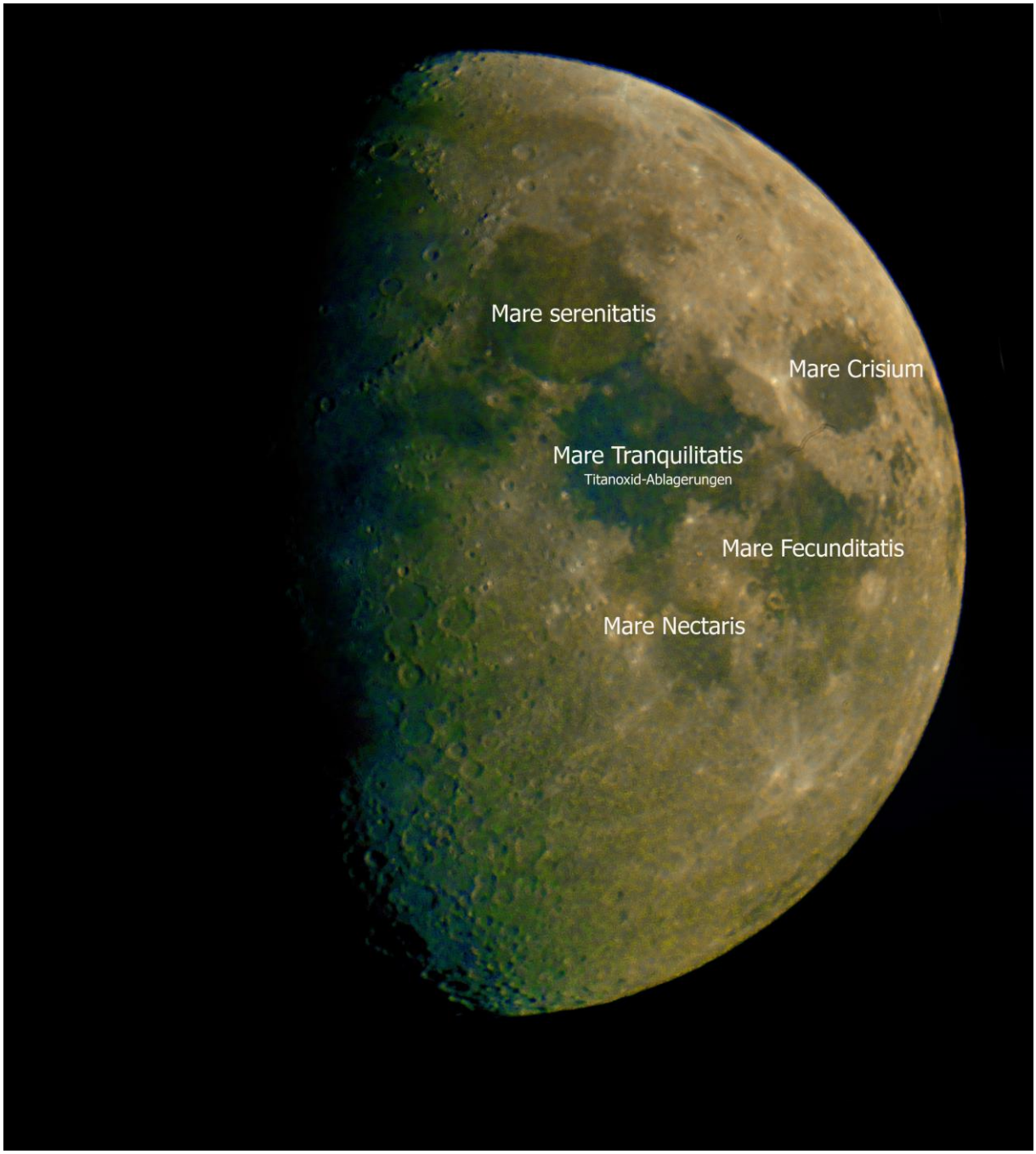


Abb. 4.9: Fertiges Mondmosaik mit Beschriftung
Foto: Jonas Endres und Leon Hoeborn 11.12.2013 18.20 MEZ

4.2 Fotos Sonne

In dem folgenden Kapitell wollen wir den Weg zu unserem fertigen Sonnenfoto aufzeigen. Dabei beschreiben wir die Bearbeitung der Fotos und zeigen zum besseren Verständnis Screenshots der Bearbeitungsprogramme.

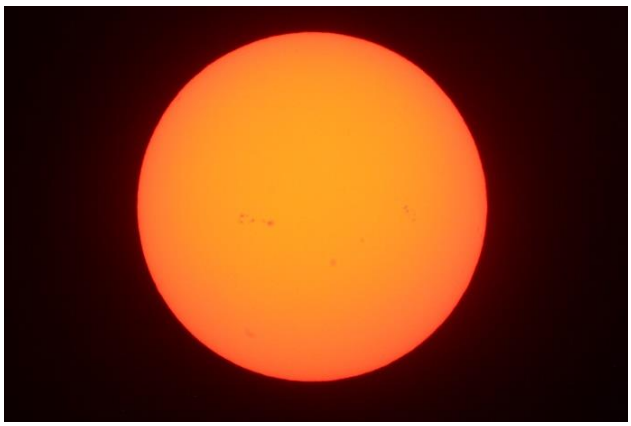


Abb. 4.10: Sonne mit Baader Red 1000 am 12.03.2014 14.55 MEZ
Foto: Jonas Endres und Leon Hoeborn

Abb. 4.11 Sonne mit Rotfilter am 19.3.2014 17.34 u. 17.35 MEZ (überbelichtet unten links, unterbelichtet unten rechts)
Foto: Leon Hoeborn und Jonas Endres

Am 19.03.2014 haben wir uns, durch das gute Wetter geleitet, dazu entschieden, neue Aufnahmen von der Sonne zu machen.

Diesmal wollten wir aber etwas Neues ausprobieren und sind an Station 7 gegangen.

Das aber eigentlich Neue an diesen Aufnahmen ist, dass wir einen Rot-Filter verwendet haben. In unseren vorherigen Aufnahmen haben wir Filter wie Baader Orange 640 oder Baader Red 1000 verwendet.

Der Unterschied ist erstaunlich! Um nun das bestmögliche Sonnenbild mit dem Rot-Filter zu erstellen zu können, haben wir zuerst Bilder überbelichtet aufgenommen, damit der Rand scharf dargestellt wird, und dann Bilder

aufgenommen, die nur kurz belichtet waren, um die Oberfläche der Sonne scharf darzustellen. Unsere Idee daraufhin war, mithilfe von Photoshop den scharfen Rand um die scharfe Oberfläche herum zu projizieren.

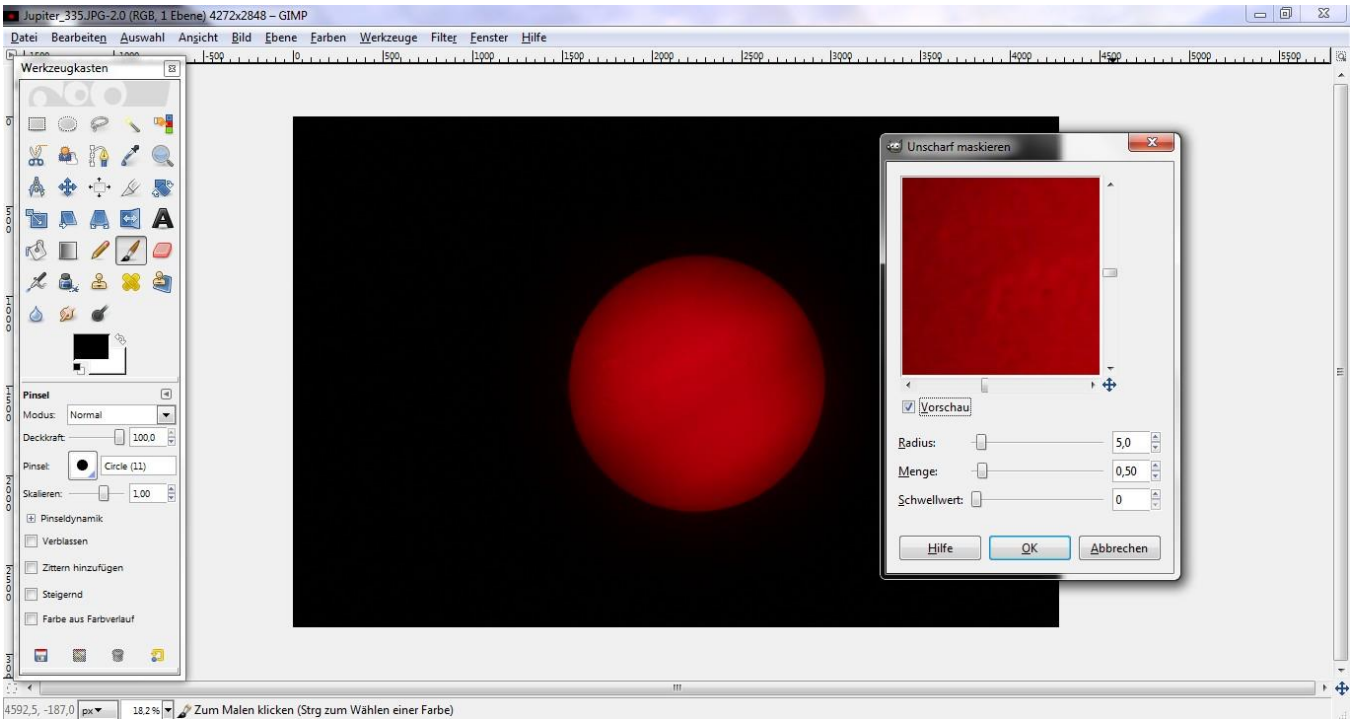


Abb. 4.12: Gimp Screenshot, Schärfen der Bilder
Foto: Leon Hoeborn und Jonas Endres

Bildbearbeitung:

Zuerst haben wir haben wir uns die Bilder einzeln vorgenommen und geschärft. Dazu haben wir das Programm Giotto benutzt. In einem ersten Schritt wird die Schärfe im Bild verbessert und dann im zweiten Schritt die Farben.

Um das Bild zu schärfen, muss man das Bild öffnen, dann auf Filter → Verbessern → Unscharf maskieren. Nun öffnet sich ein Fenster, in dem man mit Hilfe der Regler Radius, Menge und Schwellwert die Schärfe optimieren kann.

Die Verbesserung der Farben wird über die Helligkeit und den Kontrast geregelt. Diese Bearbeitung findet sich unter Farben → Kurven. Dort kann man mit der

Mausspitze vorsichtig die Kurve verändern, um so die Helligkeit und den Kontrast anzupassen.

Das fertige Foto wird abgespeichert.

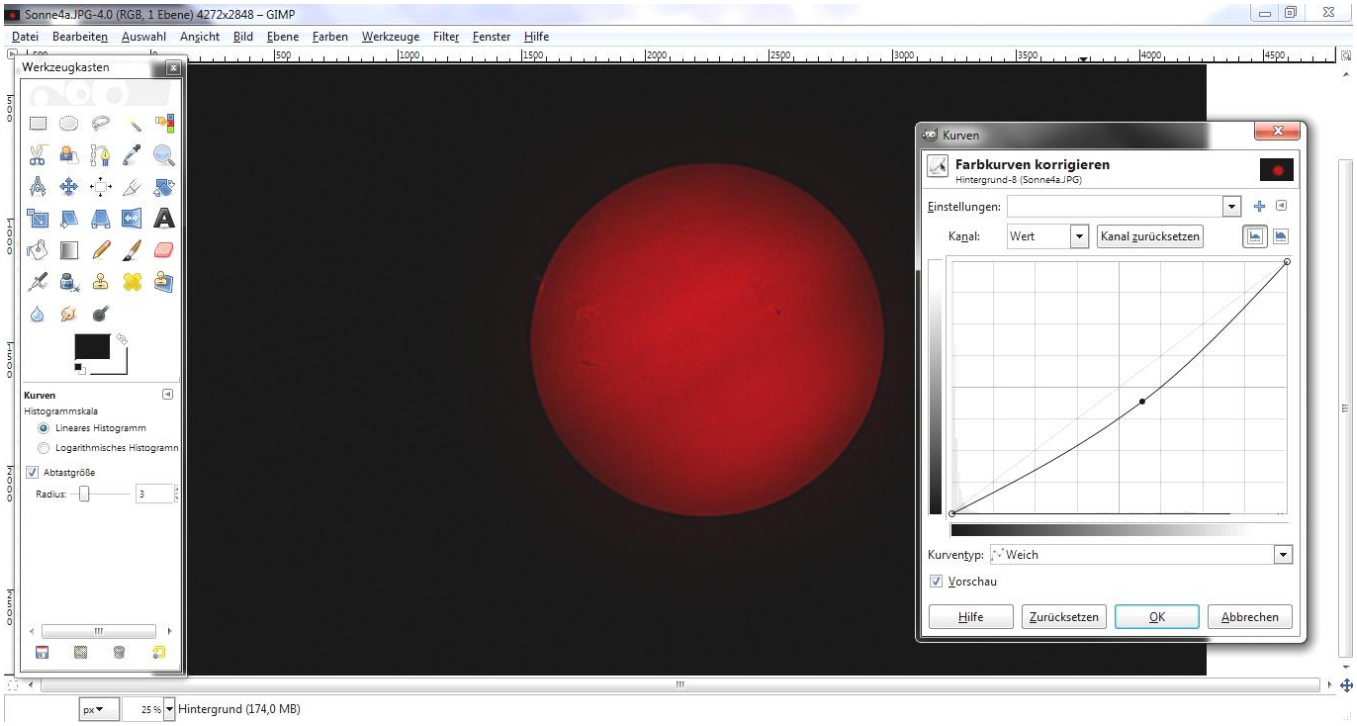


Abb. 4.13: Gimp Screenshot, Helligkeit anpassen
Foto: Leon Hoeborn und Jonas Endres

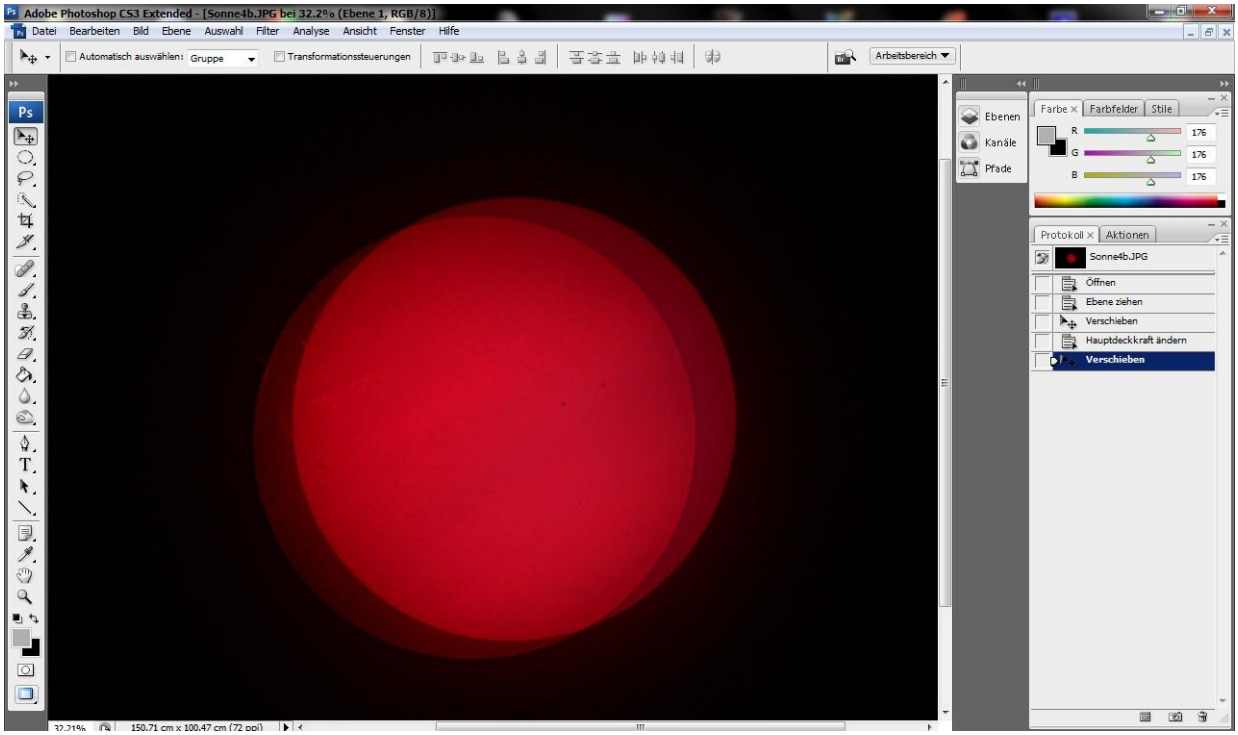
Dasselbe Procedere führt man für die überbelichteten Fotos durch, bei denen man den Rand extra scharf abgebildet haben will.

Nun fehlt noch, dass man den Rand des überbelichteten Bildes um die Sonnenoberfläche des anderen Sonnenbildes projiziert. Hierzu verwendet man Photoshop. Als allererstes muss man die beiden in Photoshop geöffneten Bilder mithilfe des Verschieben-Werkzeugs übereinander schieben. Eine sehr gute Überlappung lässt sich durch entsprechendes Zoomen erzielen.

Als nächstes muss man ‚nur' noch mit Hilfe des Kantenverbessern-Feldes die helle Fläche des einen Bildes entfernen, damit nur noch der scharfe Rand um das andere Bild bleibt.

Übrig bleibt ein fertiges Sonnenbild, welches nur noch gespeichert werden muss.

Abb. 4.14: Kantenverbessern durch Überlagern und Randausschneiden



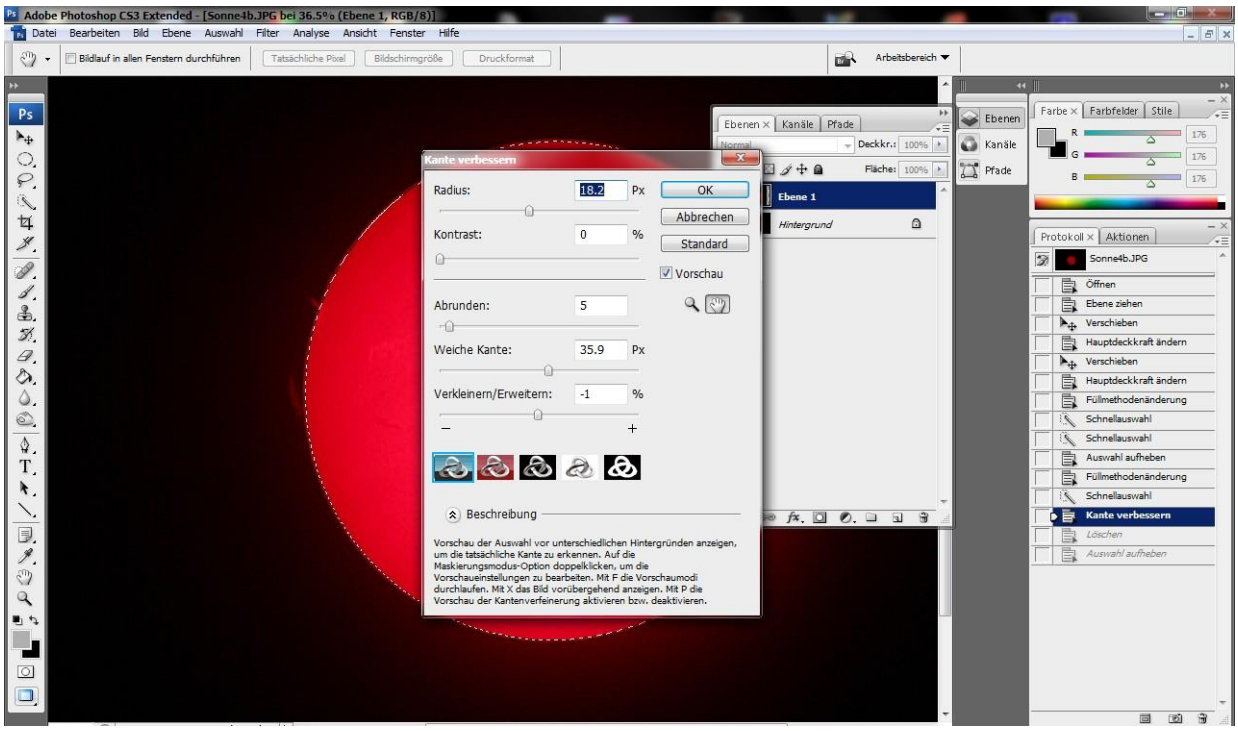


Abb. 4.15: Fertiges Sonnenbild
Foto: Jonas Endres und Leon Hoeborn 19.03.2014, 17.34 MEZ

4.3 Sonnen-Videos

Im folgenden Kapitel wollen wir beschreiben, wie wir die Sonne gefilmt und aus diesen Aufnahmen eine Animation einer Protuberanz erstellt haben.

Als erstes haben wir mit Hilfe von AviStack 2.0 die aufgenommenen Videos zu einzelnen Bildern gestackt. Dazu haben wir das Video in AviStack geöffnet → Settings → Processing → All Automatic (except past-processing). Dann mussten wir nur noch auf ‚Process file' klicken und den Rest hat AviStack für uns übernommen.

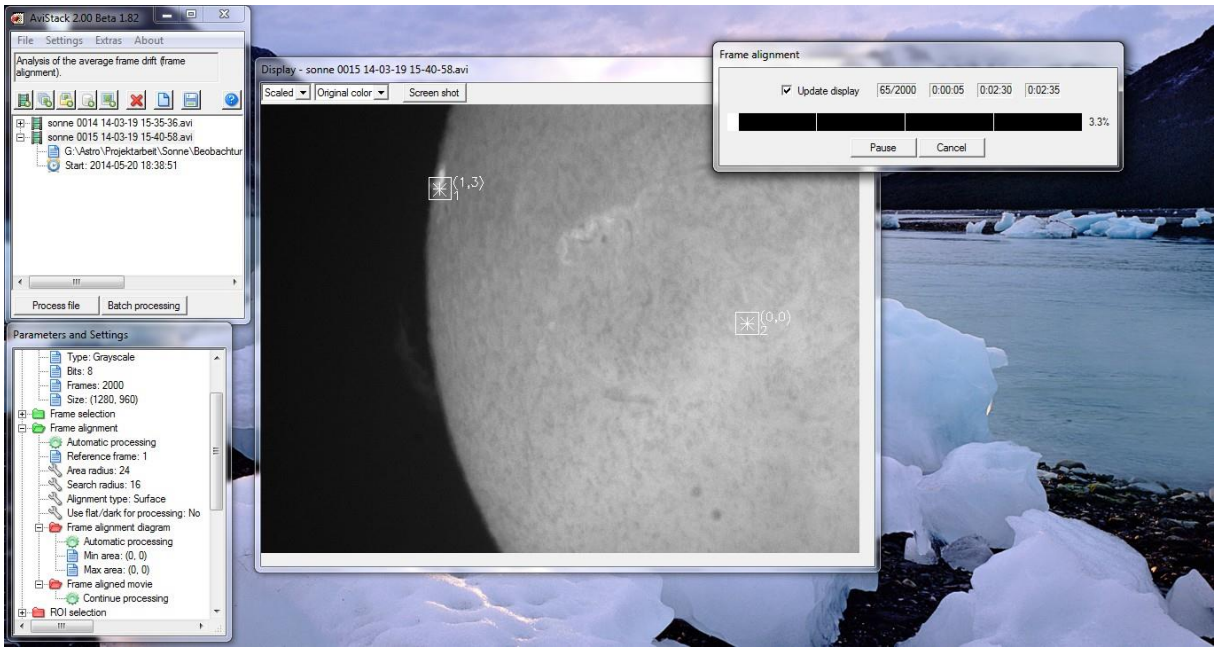


Abb. 4.16: AviStack 2.0 während des Stackingprozesses *(Hoeborn und Endres)*

Das Resultat ist ein noch ungeschärftes, zusammengesetztes Bild. Das Stacking führen wir für alle aufgenommen Videos durch. Für die Animation schärfen wir alle nötigen Bilder im nächsten Schritt, hierzu verwenden wir Photoshop.

Abb. 4.17: Screenshot Unscharf maskieren *(Hoeborn und Endres)*

Man muss alle Bilder in Photoshop öffnen und unscharf maskieren. Hierbei ist es wichtig, darauf zu achten, dass die Einstellungen bei allen Bildern dieselbe ist.

Als nächstes muss man alle Bilder so verschieben, dass die Sonnenränder übereinander liegen. Am einfachsten dafür ist die Einstellung Photomerge, da Photoshop dann automatisch die Bilder übereinander legt. Man muss dann nur noch die Ränder zuschneiden, damit die Bilder die gleiche Größe haben.

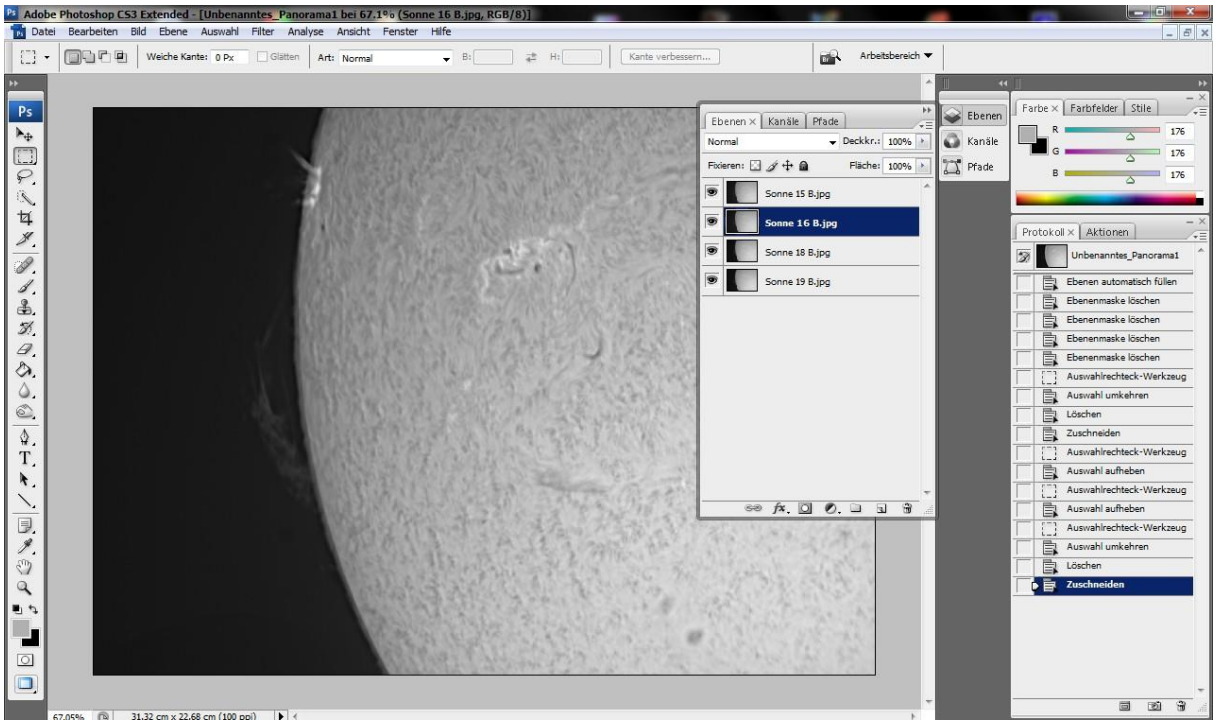


Abb. 4.18: Screenshot Übereinander gelagerte Ebenen, zugeschnitten *(Hoeborn und Endres)*

Der letzte Schritt in Photoshop ist es, die einzelnen Ebenen zu duplizieren, damit man sie als einzelne Bilder abspeichern kann.

Als nächstes hatten wir überlegt, die Animation in Photolaps3 zu erstellen. Photolaps hatte aber ein Problem und konnte kein fertiges Video erstellen. Deshalb haben wir Photoshop verwendet. Geöffnet haben wir nicht die einzelnen Bilder, sondern die vorherige Tiff-Datei, da diese schon in Ebenen-Form war.

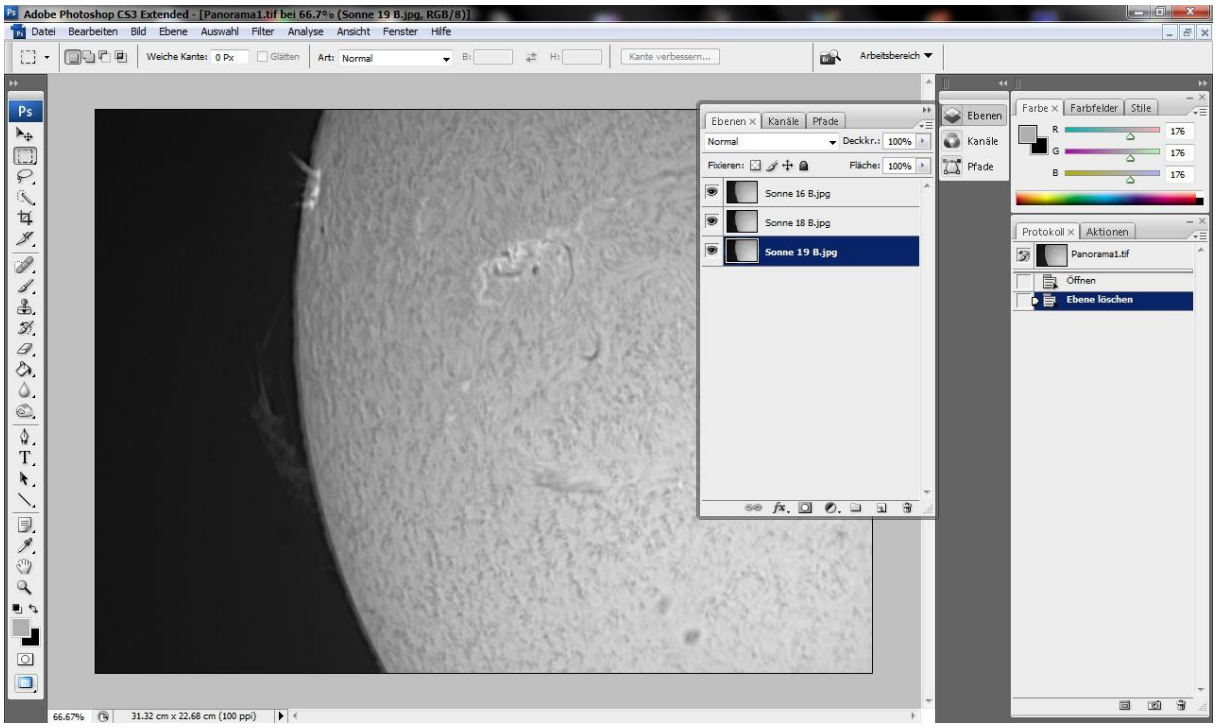


Abb. 4.19: Screenshot Ebenen Form in Photoshop *(Hoeborn und Endres)*

Nun mussten wir mit Strg. D Teile der Sonnenoberfläche kopieren und damit den Staub überlagern.

Als nächstes haben wir unter Fenster → Animation die Zeitlänger der Bilder eingestellt.

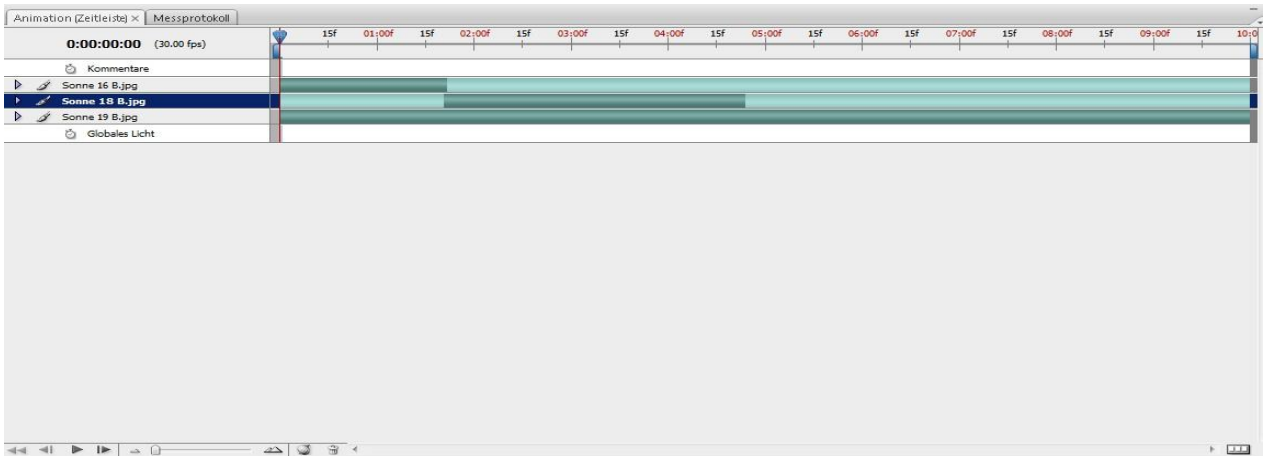


Abb. 4.20: Screenshot Zeitspannen einstellen *(Hoeborn und Endres)*

Als letztes mussten wir die Animation speichern.

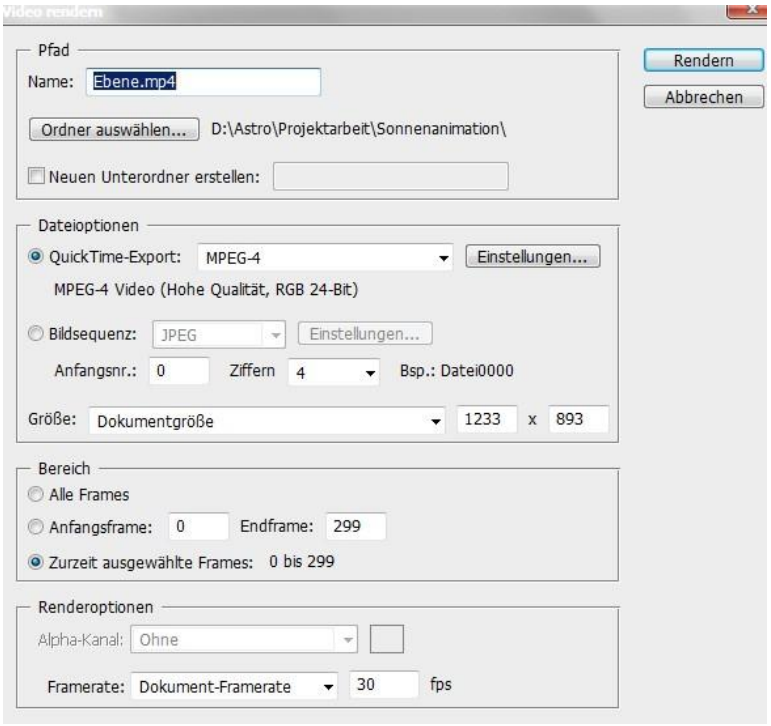


Abb. 4.21: Screenshot Abspeicherung
(Hoeborn und Endres)

Heraus kommt die fertige Animation (siehe CD). In Kapitel 2 sind bereits drei Fotos, die im Abstand von 5 Minuten aufgenommen wurden, als vereinfachte Animation dargestellt.

4.4 Auswertungen der Mond-Sonnen-Spektren

Ein Teil unseres Themas ist die Auswirkung der Mondoberfläche auf das sich spiegelnde Sonnenlicht. Dazu haben wir am 11.12.2013 Mondspektren und am 30.11.2013 Sonnenspektren aufgenommen, um die Spektrallinien miteinander zu vergleichen. Die Aufnahme von Mond- und Sonnenspektren am selben Tag wäre besser gewesen, war uns aus zeitlichen Gründen aber nicht möglich.

Um die Mondspektren aufzunehmen, haben wir den DADOS-Spektrographen an unser schon fertig aufgebautes C11-Teleskop angesetzt und die CCD-Kamera auf -20 C^0 heruntergekühlt. Nun mussten wir nur noch eine uns geeignete Stelle auf der Mondoberfläche anpeilen und ein scharfes Spektrum aufnehmen.
Die Sonnenspektren haben wir, im Gegensatz zu den an Station 6 aufgenommen Mondspektren, an Station 7 aufgenommen. Um diese Spektren des Sonnenlichtes aufzunehmen, mussten wir lediglich den Tageshimmel mit unserem Teleskop anpeilen und nicht die Sonne direkt.

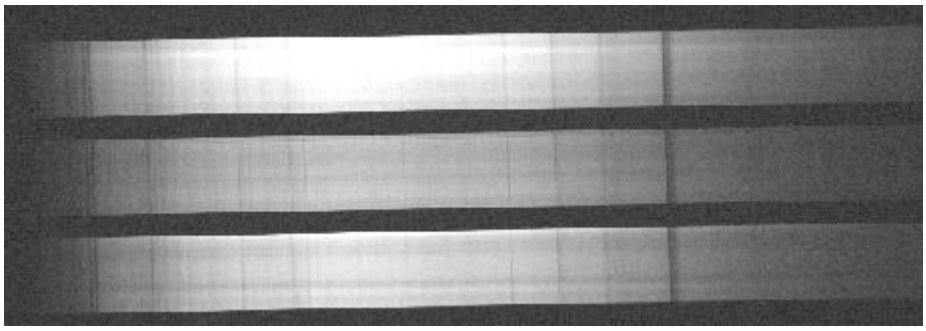


Abb. 4.22: Rohspektrum des Mondes mit Dadosspektrograph
Aufnahme: Jonas Endres und Leon Hoeborn 11.12.2013 19.39 MEZ

Bearbeitungen der Spektren:
Um die beiden Spektren auswerten zu können, muss man in beiden Fällen dieselbe Reihenfolge der Bearbeitung durchführen. Die hier beschriebene Bearbeitung wird als Beispiel an dem Spektrum des Mondes durchgeführt.
Die Auswertung der Spektren kann man in 4 Schritte unterteilen:
Schritt 1: Erstellen eines einzelnen Spektrums
Das empfohlene Programm Fitswork eignet sich hervorragend für die ersten Schritte der Bearbeitung. Wenn man Fitswork öffnet, kann man das aufgenommene Spektrum öffnen und dieses nun mit Hilfslinien waagerecht ausrichten und das mittlere Spektrum der drei ausschneiden. Dieses nennt man dann sein Summenspektrum.

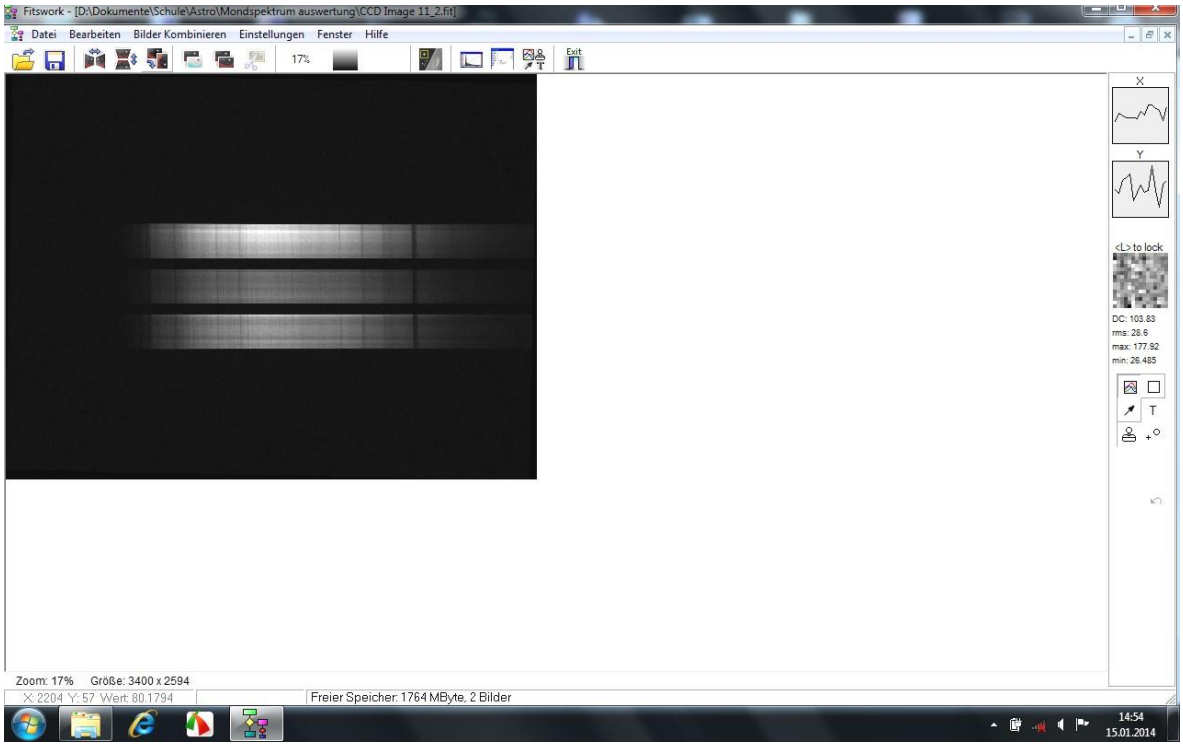


Abb. 4.23: Screenshot: Erstellen des Spektrums *(Leon Hoeborn und Jonas Endres)*

Nun muss man das mittlere Spektrum ausschneiden, um das einzelne Spektrum zu erhalten.

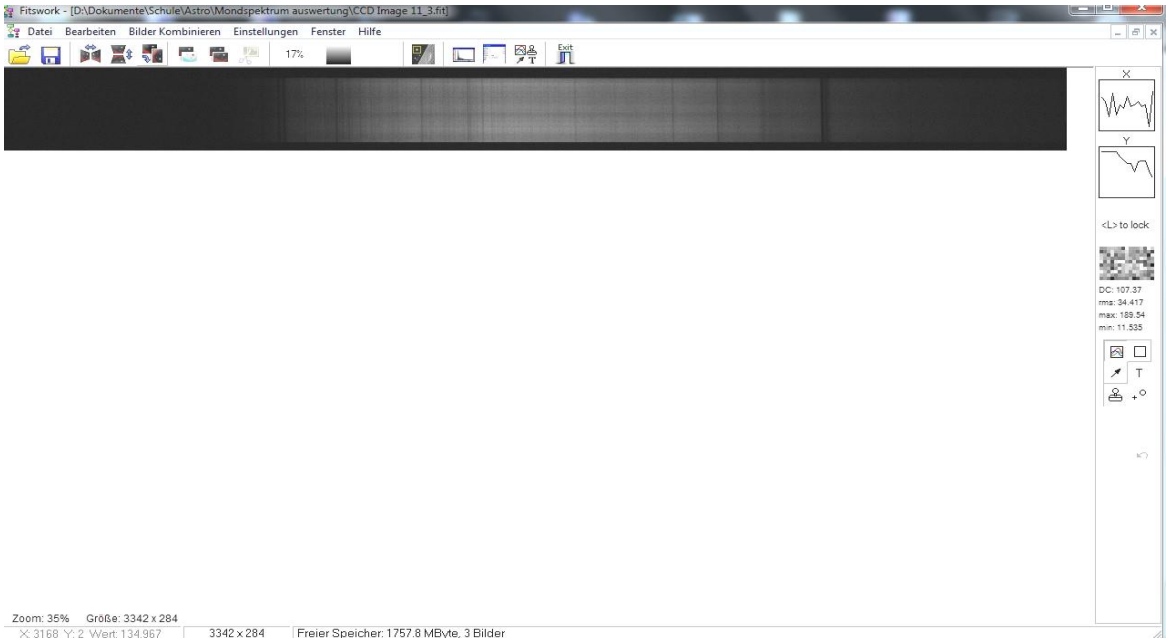


Abb. 4.24: Screenshot Fertiges Spektrum *(Leon Hoeborn und Jonas Endres)*

Schritt 2: Scan erstellen

Um nun den Scan zu erstellen, öffnet man das Spektrum in dem Programm Vspec. Dort kann man mit der Funktion ‚Object binding' den Scan zum Spektrum erstellen.

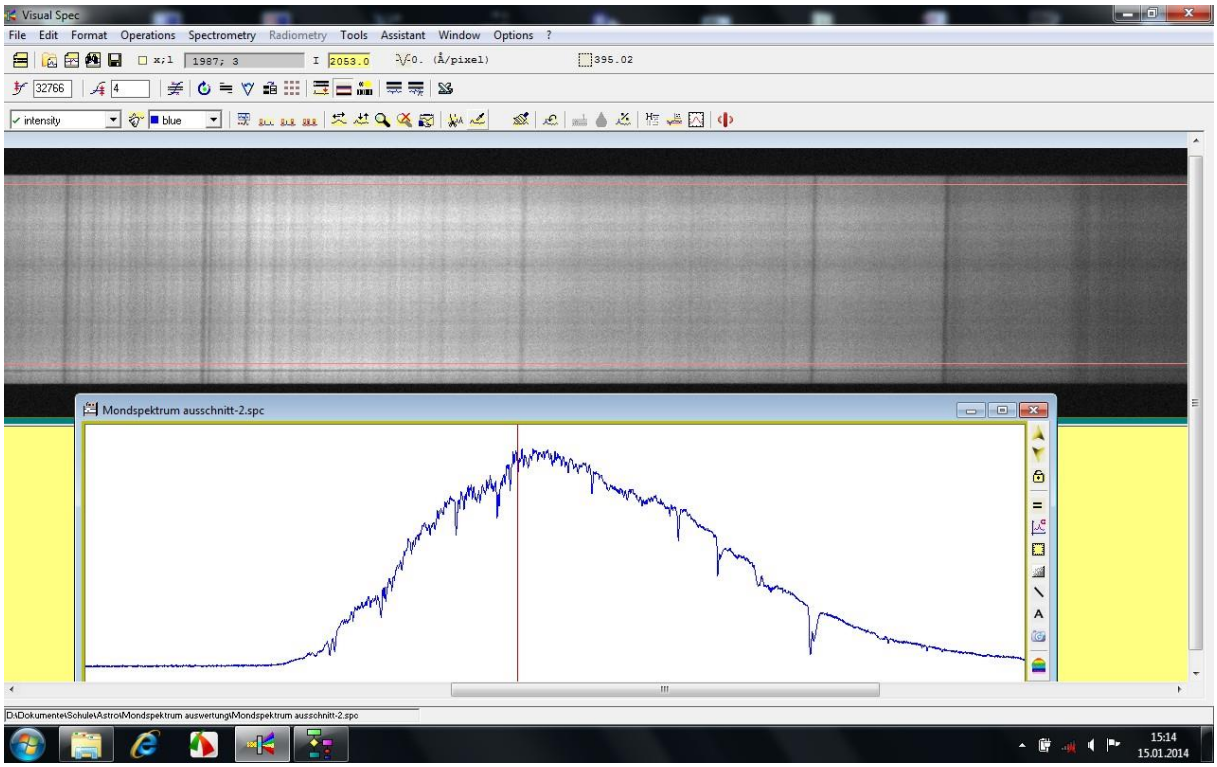


Abb. 4.25: Screenshot Scan des Spektrums *(Leon Hoeborn und Jonas Endres)*

Schritt 3: Kalibrierung der Wellenlänge

Als nächstes folgt die Kalibrierung der Wellenlänge, bei der man den Scan des Spektrums nimmt und die erkennbaren Ausschläge den entsprechenden Elementen zuordnet. Zuerst gibt man der x-/y-Achse eine Skalierung. Auf der x-Achse werden die Pixelwerte angegeben und zu jedem wird auf der y-Achse die entsprechende Wellenlänge angegeben λ (Lambda). Die Einheit der Wellenlänge wird in Ångström angegeben, was 0.1nm entspricht.

Nun öffnet man ‚Non linear calibration', indem man auf die Funktion ‚Calibration Multiple Lines' klickt. Es handelt sich hierbei um eine Dialogbox in Tabellenform,

welche es erlaubt, verschiedenen Spitzen, auch Peaks genannt, des Linienprofils Wellenlängen zuzuordnen. Diese Zuordnung erfolgt folgendermaßen:

Als erstes wählt man mit der Maus die zu kalibrierende Spitze (Peak) aus. Sehr zu empfehlen ist es, vorher die Ansicht zu vergrößern, um die Auswahl zu spezifizieren. Wenn man die Auswahl getroffen hat, erscheint ein Textfeld, in das man die passende Wellenlänge eintragen kann. Um dies zu vereinfachen, kann man die Auswahl der Linie im Fenster „Elements“ durchführen. Dies ist eine Datenbank, in der die Linien der chemischen Elemente zwischen 3000 und 11000 Ångström aufgelistet sind. Dies muss man für jede Spitze durchführen.

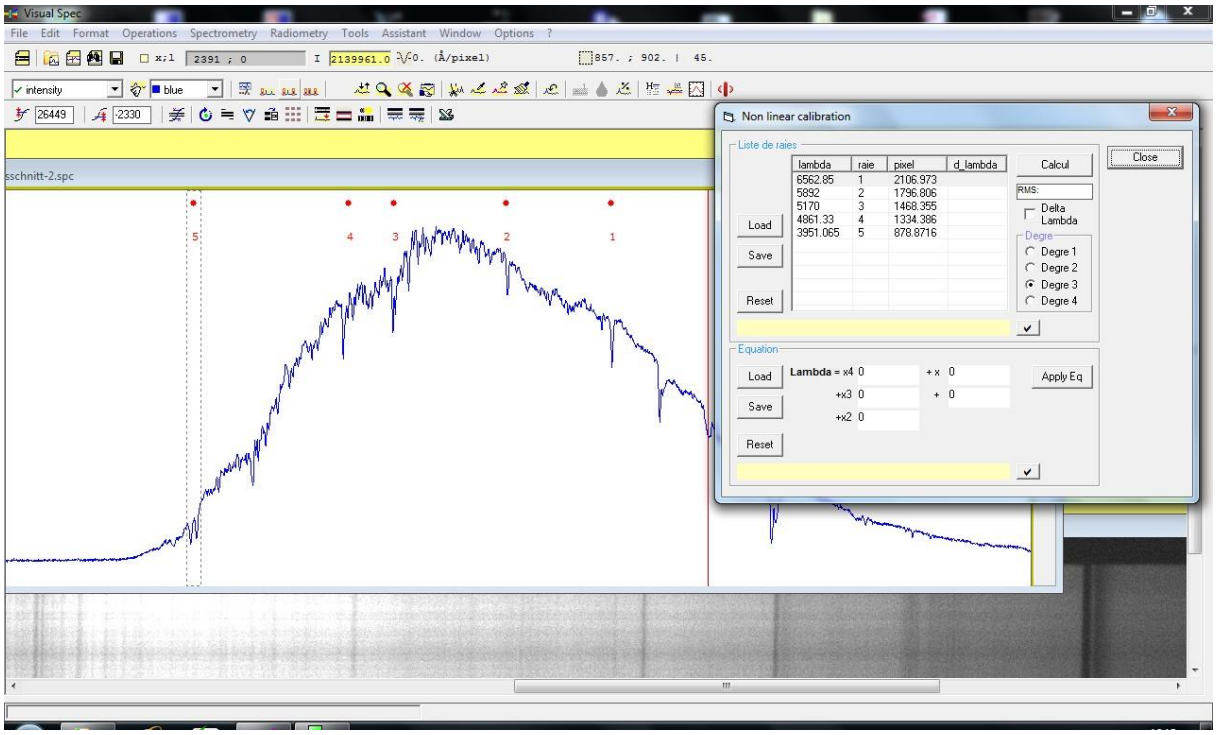


Abb. 4.26: Screenshot Kalibrierung der Wellenlänge
(Leon Hoeborn und Jonas Endres)

Schritt 4: Intensitätskalibrierung

In diesem Schritt mussten wir mehrere kleinere Schritte hintereinander machen, deshalb fassen wir diese nur kurz zusammen: Als erstes haben wir ein Referenzspektrum gebildet. Mit Hilfe dessen konnten wir das grüne Differenz-

spektrum erstellen. Nun bildet man die Instrumentenfunktion, mit deren Hilfe wir das original durchgeglättete Referenzspektrum erstellen können.

Um nun das Original Spektrum in Farbe zu bekommen, mussten wir einfach mit rechtsklick auf „Colorer“ klicken.

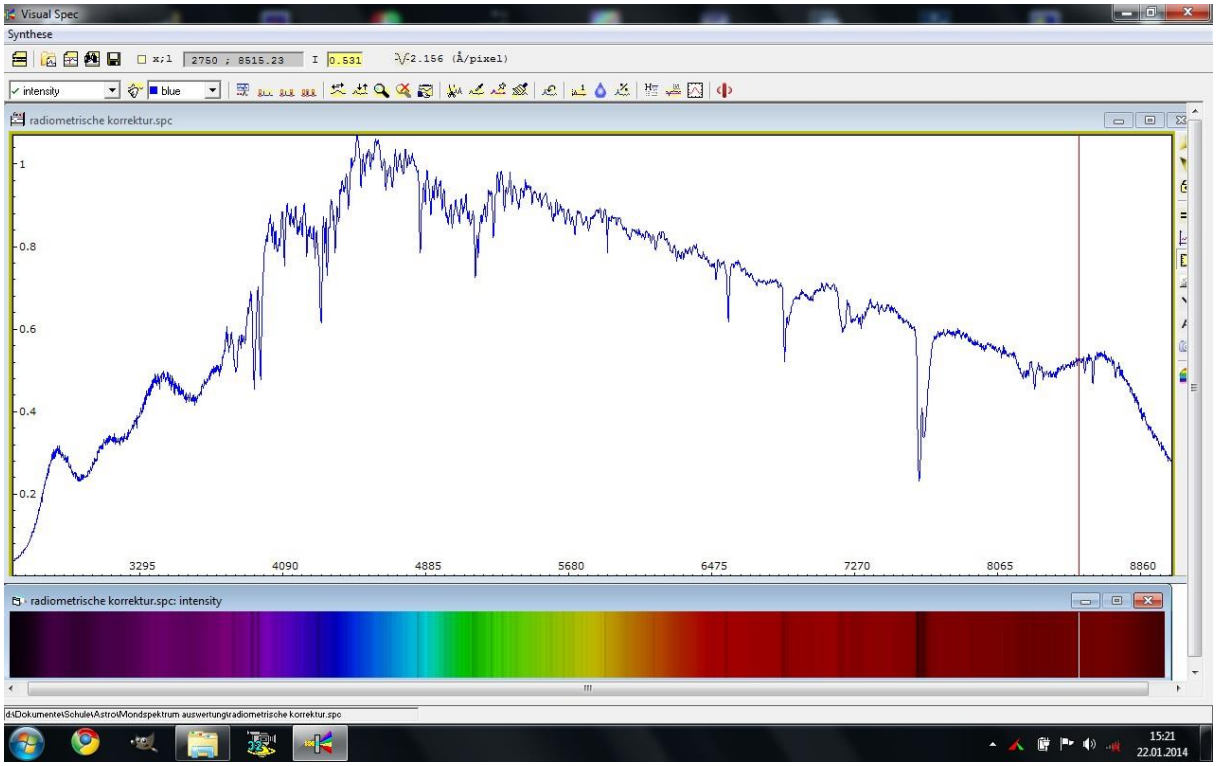


Abb. 4.27: Screenshot Mondspektrum absolut kalibriert *(Hoeborn und Endres)*

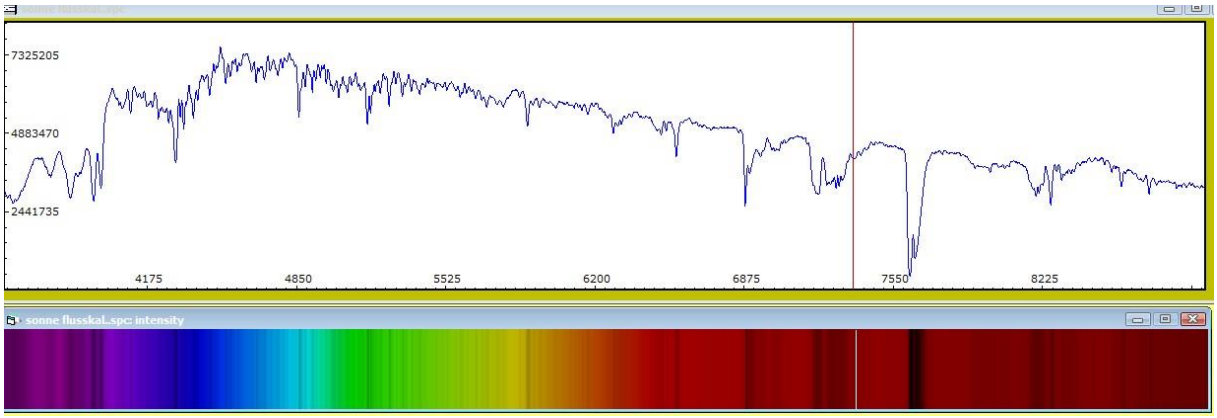


Abb. 2.28: Screenshot Sonnenspektrum absolut kalibriert *(Hoeborn und Endres)*

Man kann die deutlichen Ähnlichkeiten erkennen zwischen den beiden Spektren, aber auch, dass sie sich an bestimmten Stellen unterscheiden, besonders in der unterschiedlichen Intensität bei bestimmten Wellenlängen. In den Fraunhoferspektrallinien unterscheiden sich die beiden Spektren aber nicht, dies ist auch logisch, da der Mond das Sonnenlicht nur reflektiert.

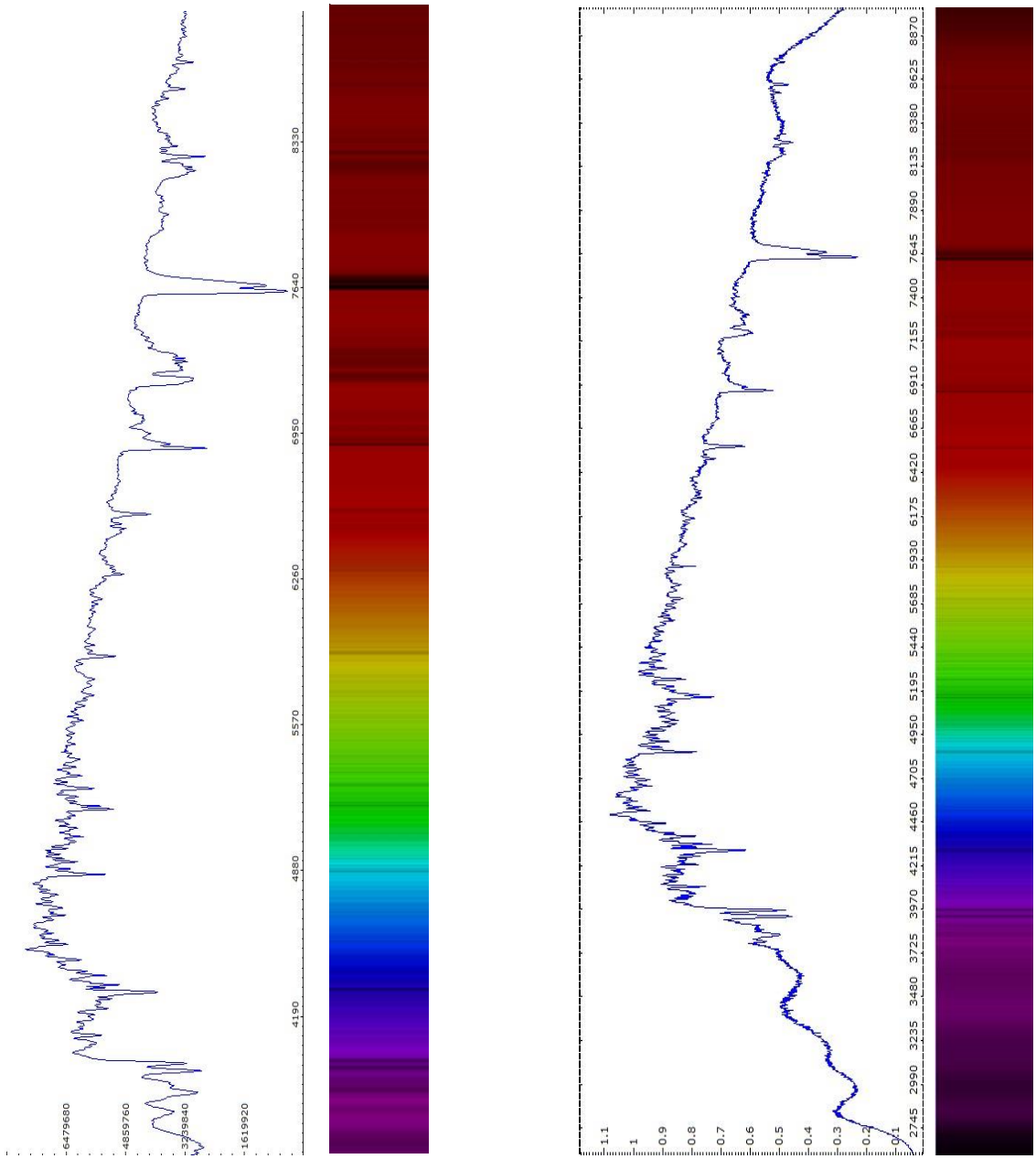


Abb. 4.30: Vergleich Sonnenspektrum (links) und Mondspektrum (rechts)

Um die Temperatur auf der Sonnenoberfläche mit Hilfe unserer Aufnahmen zu bestimmen, betrachtet man beim kalibrierten Spektrum den ungefähren Höhepunkt und die entsprechende Wellenlänge.

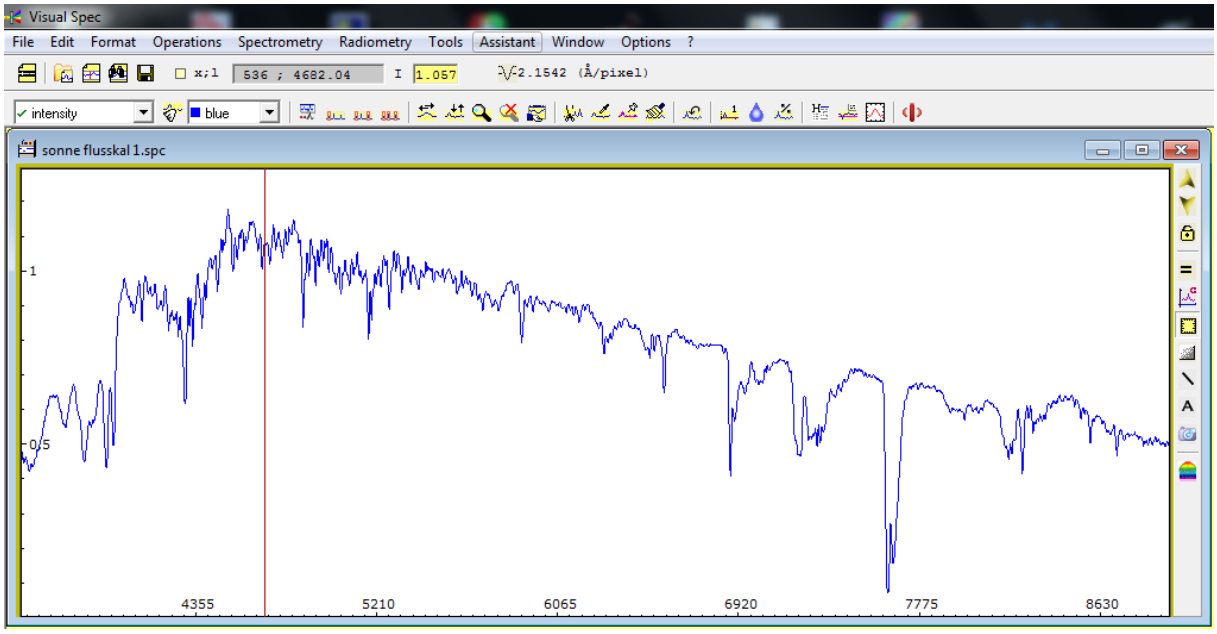


Abb. 4.29: Kalibriertes Sonnenspektrum *(Hoeborn und Endres)*

Nun wendet man das Wiensche Verschiebungsgesetz an, indem man 2897,8µm, multipliziert mit Kelvin, durch die entsprechende Wellenlänge teilt. Die Formel dafür lautet:

T = 2897,8 x K/ λ_{max} /$1\mu m = 10^{-8}m = 10000Å$

$T = \frac{2897{,}8 \times 10000Å \times K}{4700Å}$ Nun kann man Angstrom herauskürzen und erhält die Effektivtemperatur der Sonne.

$T_{gem.} = 6165{,}53K$ Um die Temperatur in °C umzurechnen, benutzt man folgende Regel: $[K] = [°C] - 273{,}15$, da 0°C dem Kelvin-Wert von 273,15K entspricht.

$T_{gem.} = 6438{,}68°C$

Um herauszufinden, ob unser Ergebnis mit dem offiziellen Ergebnis[19] übereinstimmt, haben wir es verglichen, indem wir die Differenz durch das offizielle Ergebnis geteilt und mit 100 multipliziert haben.

Differenz= $6165K - 5778K = 387K$

$$\Delta T = \frac{387K}{5778K} \times 100 = 6{,}7\%$$

Wie man erkennen kann, weicht unser Ergebnis von der Temperatur der Sonne um 6,7% vom offiziellen Wert ab.

[19] www.de.wikipedia.org/wiki/sonne Zugriff 28.05.2014

5. Portfolios

5.1 Sonnenportfolio

Masse: $1{,}989 * 10^{30}$ kg

Oberflächentemperatur: 5778°Kelvin (umgerechnet 5504,85°Celsius)

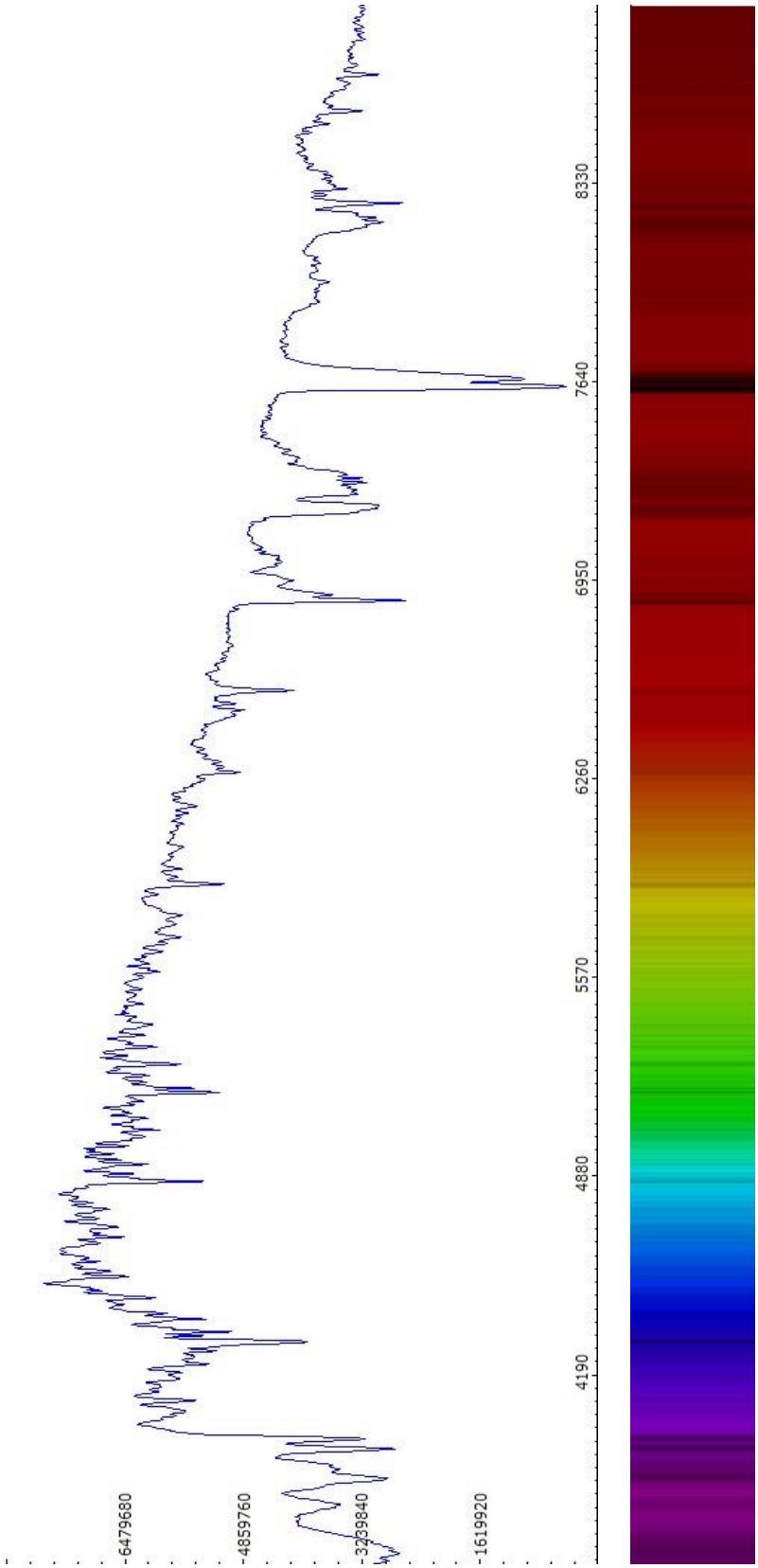
Stoffe (Hauptbestandteile): Wasserstoff, Helium, Sauerstoff, Kohlenstoff, Neon und Stickstoff

Mittlere Erdentfernung: 149,6 Millionen Kilometer

Radius: 1.392.684 km

Dichte: 1,408 g/cm^3

Volumen: $1{,}411 * 10^{27}$ m^3


-6479680
-4859760
-3239840
-1619920
4190
4880
5570
6260
6950
7640
8330

5.2 Mondportfolio

Masse: $7{,}349 \cdot 10^{22}$ kg

Oberflächentemperatur: +130°C (sonnenangestrahlte Seite); -160°C (sonnenabgewandte Seite)

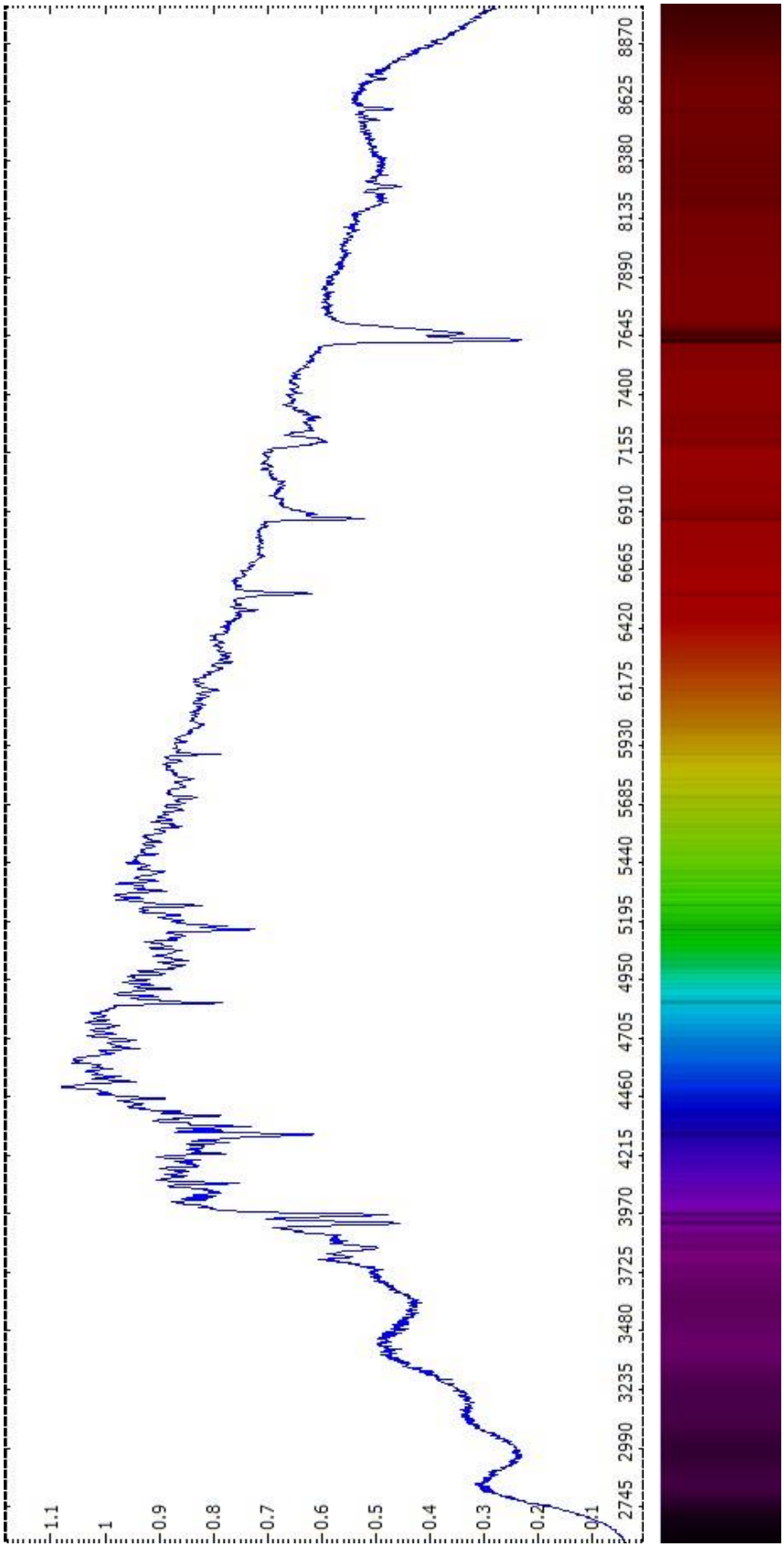
Stoffe: Eisen, Magnesium, Titan, Kalzium, Aluminium, Mineral Plagioklas

Mittlere Erdentfernung: 384.700 km

Radius: 1738 km

Dichte: 3,34 g/cm^3

Volumen: $2{,}2 * 10^{10}$ km^3


1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
2745
2990
3235
3480
3725
3970
4215
4460
4705
4950
5195
5440
5685
5930
6175
6420
6665
6910
7155
7400
7645
7890
8135
8380
8625
8870

6. Zusammenfassung und Ausblick

Wir haben unsere Zielsetzung, Sonnen- und Mondspektren zu erfassen und zu betrachten, umsetzen können. Allerdings sind die Mondspektren nicht konkret auf die betrachteten Mondmosaike bezogen, sondern auf einen beliebigen Punkt. Dadurch lassen sich diesen Spektren nicht die konkreten Bestandteile der einzelnen Mare zuordnen. Dies war nicht Aufgabenstellung dieser Arbeit, wäre aber im Rahmen einer weiteren Arbeit eine interessante Fragestellung.

Einleitend haben wir die theoretischen Grundlagen zur Sonne, zum Mond und zu Spektren allgemein dargestellt. Mit der beschriebenen Ausstattung des CFG waren wir in der Lage, die geplanten Fotos von Sonne und Mond sowie Videos von der Sonne aufzunehmen und auszuwerten.

Die von uns aufgenommenen Spektren von Sonne und Mond waren schwierig zu vergleichen. Zum einen wurden die Spektren nicht zeitnah aufgenommen, so dass natürliche Veränderungen großen Einfluss hatten. Zum anderen hatten wir unvermutete technische Schwierigkeiten bei der Anwendung der Programme, die kurzfristig auch nicht durch Hilfe der Fachkräfte gelöst werden konnten. Trotzdem haben wir erstaunliche Ergebnisse erzielt, die wir unter anderem in Form von Portfolios dargestellt haben.

Natürlich sind viele Fragen und Aufgaben offen geblieben, die wir gern noch bearbeiten würden. So wäre es sehr hilfreich, die Spektren von Sonne und Mond an einem Tag aufzunehmen. Uns war dies leider aus zeitlichen Gründen nicht möglich. Außerordentlich reizvoll wären für uns auch die Erstellung eines Vollmondmosaiks und eines aussagekräftigen Mondmosaiks mit Stoffbezeichnungen. Sicherlich könnte man einer detaillierteren Analyse der Unterschiede zwischen den beiden Spektren weitere Aufmerksamkeit widmen.

Wir hoffen, im Rahmen unserer schulischen Ausbildung weitere Möglichkeit zu haben, diese zusätzlichen Aufgaben zu lösen.

Danksagung

Wir danken unserem Physiklehrer Michael Winkhaus, der unser Interesse an der Astronomie geweckt hat. Unserem Projektkursleiter Bernd Koch möchten wir besonders für seine uneingeschränkte Unterstützung, seine stets vorhandene Diskussionsbereitschaft und den großen Zeitaufwand, den er in unsere Betreuung investiert hat, danken.
Beide Lehrer haben durch ihr Engagement und ihre Begeisterung in uns großes Interesse für Astrophysik geweckt.

Jonas Endres und Leon Hoeborn

Literaturverzeichnis

Literatur:

Taschenbuch der Mathematik und Physik, Springer, 4. Auflage, Quantenoptik

Internetquellen:

www.techniklexikon.net, Zugriff 28.5.2014

www.spektrum.de/lexikon/physik/mond/9945, Zugriff 12.05.2014

http://de.wikipedia.org/wiki/Mond , Zugriff 12.05.2014

http://www.scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2008/05/07/der-mond-die-gezeiten/, Zugriff: 18.05.2014

http://de.wikipedia.org/wiki/Mond#Vergr.C3.B6.C3.9Ferung_der_Umlaufbahn, Zugriff: 18.05.2014

http://www.ajoma.de/html/sonne1.html, Zugriff: 11.05.2014

http://www.astronomie.at/sofi99/protuberanzen.asp, Zugriff 11.05.2014

http://de.wikipedia.org/wiki/Protuberanz, Zugriff 11.05.2014

http://www.meteoros.de_polar_polar.htm, Zugriff 17.05.2014

http://abenteuer-universum.de, Zugriff 17.05.2014

http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/quantenobjekt-elektron, Physiker und Nobelpreisträger Richard P. Feynman, Wellen oder Teilchen, Zugriff 11.05.2014

www.astrofoto.de, Zugriff 28.05.2014

http://www.naturbeobachtung.com, Zugriff 15.04.2014

http://www.teleskop-express.de, Zugriff 15.4.2014

www.astrshop.de, Zugriff 15.04.2014

de.wikipedia.org/wiki/sonne, Zugriff 28.05.2014

Abbildungen:

http://de.wikipedia.org/wiki/Mond, Zugriff 12.5.2014

http://de.wikipedia.org/wiki/Mond, Zugriff 12.5.2014

http://scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2008/05/07/der-mond-die-gezeiten/, Zugriff 18.05.2014

http://www.trendtours-exklusiv.de/content/article/images/polarlichter/19.jpg, Zugriff: 17.05.2014

http://www.google.de/wdr.Mond_Erde_drehen-um-Sonne_g.jpg

www.astronomics.com, Zugriff:28.05.2014

Sonstige Quellen:

Spektroskopievortrag, Michael Winkhaus, 23./24.11.2013

Materialien: Michael Winkhaus, Herbstspektroskopiekurs 23./24.11.2013

Abschlusserklärung

Hiermit versichern wir, Jonas Endres und Leon Hoeborn, dass wir diese Arbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die von uns angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Projektarbeit, die im Wortlaut oder dem Inhalt nach aus anderen Werken entnommen wurden, in jedem einzelnen Fall mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht haben.
Verwendete Informationen aus dem Internet sind der Arbeit im Anhang beigefügt.
Wir sind damit einverstanden, dass die von uns verfasste Projektarbeit der schulinternen Öffentlichkeit in der Bibliothek der Schule zugänglich gemacht wird.

Wuppertal, den 04.06.2014

Jonas Endres Leon Hoeborn