



Jose Ribeiro, **Abbilden mit einem Spektrokop**

Artikel erschienen im Journal für Astronomie Nr. 26, Vereinszeitschrift der <u>Vereinigung der Sternfreunde e.V. (VdS)</u>.

Bereitgestellt durch die VdS-Fachgruppe Spektroskopie.

Referenz:

J. Ribeiro, VdS-Journal Nr. 26 (2008) 111ff

Abbilden mit einem Spektroskop

von Jose Ribeiro*, Portugal (aus dem Englischen übersetzt von Thomas Hunger und Ernst Pollmann)

Im folgenden Artikel möchte ich unsere Bemühungen vorstellen, so genannte Schmalbandaufnahmen der Sonne, des Mondes und einiger Planeten zu erhalten.

Einleitung

Die Hauptrolle der Spektroskopie in der Astrophysik ist die Studie von Eigenschaften astronomischer Körper durch die Analyse des von ihnen ausgehenden Lichtes. Dies kann etwa durch Untersuchung des Spektrums erreicht werden, das mit einem Spektrographen erhalten wurde, oder indem man Bilder des astronomischen Körpers mit schmalbandigen Filtern gewinnt. Auch normale Spektrographen können in indirekter Weise verwendet werden, um einzelne Schmalband-Bilder ausgedehnter heller Objekte zu erhalten. Spektro-Heliographie ist das bekannteste Beispiel. Sie ist bereits auch bei Amateuren gängige Praxis. Die gleichen Methoden, die für die Sonne verwendet werden, können auch bei anderen ausgedehnten Objekten wie dem Mond und den Planeten angewendet werden. Das Problem ist hier die Helligkeit dieser Objekte.

Einige Lösungsansätze werden im Folgenden beschrieben. Eine weitere Frage ist, welche nützlichen Informationen aus solchen Schmalband-Bildern des Mondes und der Planeten gewonnen werden können. Die Antwort auf diese Frage ist jedoch nicht das primäre Ziel dieses Artikels. Vielmehr stellt die hier vorgeschlagene Technik den Versuch einer Methode einer sog. "Amateur-Fernerkundung" dar.

Spektro-Heliographie

Spektro-Heliographie ist die Rekonstruktion von Sonnenbildern bei einer spezifischen Wellenlänge. Mein Spektro-Heliograph besteht aus einem apochromatischen Refraktor mit 85 mm Öffnung und 600 mm Brennweite, einem Littrow-Spektrograph mit einem Beugungsgitter von 2400 Linien/mm sowie zwei Webcams – eine zur Bildaufnahme, die zweite zur Nachführung.

Die Aufnahmemethode ist nun einfach: Die Sonne passiert den Spalt des Spektrographen, während die RA-Bewegung ausgeschaltet ist. Dabei wird ein Videobild, in meinem Fall eine AVI-Bildsequenz,

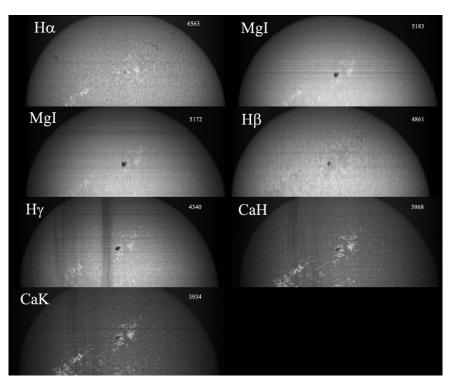


Abb. 1: Bilder der Sonne bei unterschiedlichen Wellenlängen.

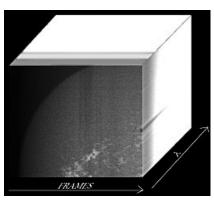


Abb. 2: Bildzusammenstellung aus den Spektralanteilen.

aufgenommen. Unter Verwendung des Programms IRIS von Christian Buil kann diese Sequenz wieder in Einzelbilder zerlegt werden. Als Nächstes muss nun die Pixelspalte gewählt werden, die der gesuchten Wellenlänge entspricht (SCAN2PIC Kommando in IRIS). Das resultierende Bild ist deformiert. Dies ist durch die Tatsache bedingt, dass die Geschwindigkeit der Bildspeicherung unterschiedlich der siderischen Bewegung ist. Deshalb müssen leichte geometrische Korrekturen vorgenommen werden.

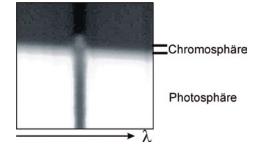


Abb. 3: Spaltspektrum des Sonnenrandes: Chromosphäre über Photosphäre mit Linienumkehrung bei $H\alpha$?

Wenngleich diese Methode daher kaum vollkommene Bilder ergibt, ermöglicht sie dennoch, die Sonne in allen Wellenlängen vom nahen UV bis ins nahe IR zu studieren (Abb.1).

Abb. 2 zeigt, wie das Sonnenbild aus den Einzelbildern zusammengesetzt wird: Jede Spalte der angrenzenden Bilder (Frames) wird addiert, um das Bild zu erhalten. Die dargestellte Linie ist CaII, die schwarze horizontale Spur in der Spektrumseite ist ein Sonnenfleck.

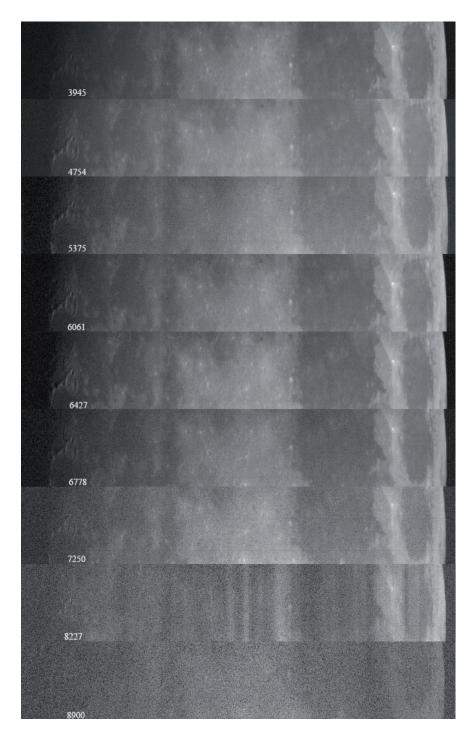


Abb. 4: Mond bei verschiedenen Wellenlängen mit Webcam beobachtet.

In Abb. 3 sieht man ein Spektrum des Sonnenrandes um die H α -Linie. Als Absorptionslinie entsteht sie in den kühleren Bereichen der Photosphäre. Weil die Chromosphäre deutlich heißer, aber auch dünner als die Photosphäre ist, überwiegt die Emission und überdeckt daher die photosphärische Absorption.

Der Mond: Spektro-Selenographie

Unter Spektro-Selenographie versteht man die Anfertigung von Mondbildern bei bestimmten Wellenlängen. Ähnlich der Spektro-Heliographie wird hier der Mond durch entsprechende Nachführmaßnahmen vor dem Spalt des Spektrographen entlang geführt, während ein AVI oder andere Bildsequenzen aufgezeichnet werden. Wegen der sehr viel geringeren Helligkeit des Mondes im Vergleich zur Sonne sind einige Aufnahmeschritte notwendigerweise etwas anders.

Zunächst ist ein lichtstärkeres Teleskop erforderlich – hier ein 9,25" Schmidt-Cassegrain. Zudem wird die spektrale Auflösung des Spektrographen verringert, um die Lichtausbeute zu erhöhen. In meinem Fall kam ein Beugungsgitter von 300 Linien/mm zum Einsatz. Da eine Webcam mit einer Pixelgröße von 5,6 µm benutzt wurde, erreichte die Dispersion etwa 1Å/Pixel. Wenngleich mit einer solchen Konfiguration bereits gewisse Bilddetails sichtbar den, ist wegen des "Lichtmangels" das Signal/Rauschverhältnis (SNR) sehr niedrig. Dieses erlaubt noch nicht die Darstellung etwaiger unterschiedlicher Details von Bildern bei unterschiedlichen Wellenlängen. Auch erlaubt die Dynamik eines Bildes mit 8 Bit noch keine nennenswerten Manipulationen. Abb. 4 zeigt eine zusammengesetzte Sequenz von Schmalband-Bildern des Mondes im Bereich Mare Crisum bis Gassendi, die mit der Webcam aufgenommen wurden. Dieses Bild, das erste, das ich mit dieser Konfiguration gewonnen habe, besitzt eine Bandbreite von 1Å bei Hα. Viele weitere Bilder konnten von mir in dieser Weise gewonnen werden, doch die Methode war aus Gründen der Belichtungszeiten noch zu unvollkommen.

Alle nun folgenden Arbeiten habe ich zusammen mit meinen Kollegen Filipe Alves und Alberto Fernando durchgeführt. Zunächst entschieden wir uns anstelle der Webcam für eine CCD-Kamera mit einem KAF3200 Chip. Eine Schwierigkeit ist die Auslesezeit der CCD, denn der Mond ruht nicht zwischen den Aufnahmen vor dem Spektrographenspalt. Die von uns gefundene Lösung bestand darin, die Geschwindigkeit des Mondes vor dem Spalt durch Ausnutzen des Unterschieds zwischen der Stern- und Mondgeschwindigkeit zu reduzieren. Der Mond wandert mit seinem Durchmesser in einer Stunde relativ zu den Sternen mit 0,5"/s. Durch Einstellung der siderischen Nachführgeschwindigkeit an der Montierung und der damit gegebenen Wandergeschwindigkeit des Mondes vor dem Spalt konnten gute Resultate erzielt werden. Unter diesen Bedingungen und einem 3x3-Binning reduzierte sich die Auslesezeit der USB-CCD von 8 s auf 1 s.

Mit dieser Konfiguration wird zwar eine geringere spektrale Auflösung von nur 3,4Å/Pixel erreicht, das SNR jedoch deutlich bei voller 16 Bit Dynamik verbessert. Ein weiterer Vorteil bei Anwendung der CCD-Kamera ist die Chipgröße. Sie erlaubt die Ausnutzung des gesamten sichtbaren Spektrums mit nur zwei Gitterpositionen. Auch konnte eine weitere Verbesserung beim Zusammensetzen der

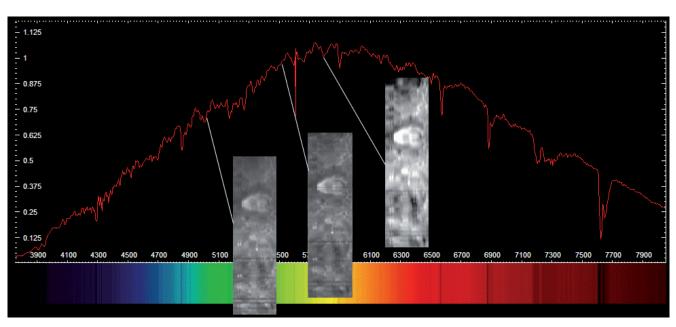


Abb. 5: Selenogramme aufgenommen mit einer CCD mit KAF3200. Zum Vergleich das gesamte reflektierte Sonnenspektrum.

Bildsequenzen zu einem Bild bei einer Wellenlänge erzielt werden. Filipe Alves entwickelte eine Programmroutine, die im 3D-Programm Softimage arbeitet und mit einer automatischen Zusammensetzung der Sequenzen zu einem Bild bei jeder beliebigen Wellenlänge verbunden ist. Von da an waren wir in der Lage, Schmalband-Bilder im gesamten sichtbaren Spektralbereich sofort zu kontrollieren.

Abb. 5 stellt das sichtbare Mondspektrum (als reflektiertes Sonnenkontinuum) in zwei verschiedenen Positionen des Beugungsgitters dar, sowie einige Bilder des Kraters Tycho, die mit dieser Methode gewonnen wurden. Der Mond ist farbig (Abb. 6). In der Literatur werden diese Farben mit den Bodenbeschaffenheiten in Verbindung gebracht. Die blaue Farbe der Mare zeigt TiO₂ an, braun gehört zu Eisenoxiden, orange deutet auf pyroklastische Lava hin.

Nachdem die Methode zur Gewinnung genügend schmalbandiger Bilder mit ausreichendem Signal-Rausch-Verhältnis und genügend Auflösung verfügbar ist, müssen Auswerteroutinen zur Interpretation der Ergebnisse erstellt werden. Eine mögliche Vorgehensweise, die auf Filipe Alves zurückgeht, ist die Bewertung des Verhältnisses aus einem schmalbandigen und dem über alle Wellenlängen gemittelten Bildes. Im Folgenden soll diese

Abb. 6: Der Mond – bunt gesehen. Methode an einem Beispiel demonstriert werden: Abb. 7a zeigt Ausgangsdaten, die den schmalbandigen Einzelbildern entsprechen sollen. Das rechte untere Bild zeigt ein weißes "A" ziemlich genau an der gleichen Stelle des schwarzen "A" links oben. Abb.

7b zeigt das aus allen Einzelaufnahmen gemittelte Bild. Dies entspricht einem Breitbandbild mit allen spektralen Anteilen der einzelnen Aufnahmen. Das Verhältnis aus Schmal- und Breitbandbild zeigt nun deutlich die spektralen Unterschiede (Abb.



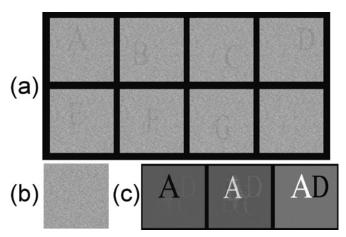


Abb. 7: Buchstabenbeispiel: (a) "Schmalbandaufnahmen", (b) Breitbandaufnahme, (c) Verhältnis Schmalband- zu Breitbandbild, rechts stellt den "DA-Verhältnis-Farbindex" dar.

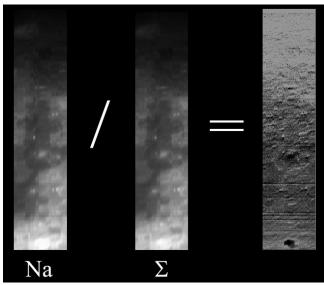


Abb. 8: Beispiel der Verhälnis-Methode an Mondausschnitt.

7c). Das linke Teilbild zeigt das Verhältnis zwischen schwarzem "A" und dem Mittelwert, in der Mitte ist das Verhältnis weißes "A" und Mittelwert dargestellt. Rechts ist das Verhältnis schwarzes "D" und schwarzes "A" gegeben (dies entspricht einem Farbindex). Die spektralen, d.h. schmalbandigen Details werden also durch diese Methode klar hervorgehoben.

Der Mondausschnitt aus Abb. 8 umfasst den Bereich von Lalande bis etwa Pitatus und dicht an Birt vorbei. Das linke Bild entspricht dem Natrium-Doublett mit einer Bandbreite von 3,4 Å. Das mittlere Bild ist der Mittelwert über alle Aufnahmen ("Breitband"), das rechte stellt das Verhältnis beider Bilder dar. Bereiche ohne Details zeigen, dass zwischen Schmal- und Breitband kein Unterschied existiert. Die dunklen Zonen dagegen zeigen Bereiche mit Unterschieden: konkret ist hier das

Licht bei 5893 Å gegenüber den detaillosen Bereichen geschwächt. Diese Methode ist auch als Farbindex C(420 nm/550 nm) interessant, da es die Abschätzung des TiO₂-Auftretens zulässt (Abb. 9). Möglicherweise lässt die Korrelation der Entnahmeorte von Mondproben zu den entsprechenden Orten auf den Schmalbandaufnahmen die Untersuchung der Mondoberfläche zu, die nicht von Raumfahrzeugen erreicht wurde.

Die Planeten

Hier unternehmen wir derzeit die ersten Schritte. Die Methode ist ähnlich der oben beschriebenen für den Mond. Die Herausforderungen sind die Nachführung und die Berücksichtigung der Luftunruhe. In einem ersten Versuch haben wir per Hand nachgeführt und die geometrischen Korrekturen später am Rechner durchgeführt. Das hat bei Jupiter und Saturn

tatsächlich zu ersten Resultaten geführt. Danach haben wir es mit dem Mars versucht. Dabei haben wir die Montierung auf siderische Geschwindigkeit geschaltet, so dass der Mars 10 m für die komplette Passage durch den Spalt benötigte. Die Schwierigkeit auch hier ist wieder die Luftunruhe, die das Gesamtbild gefährdet.

Ein interessantes Resultat sind Schmalbandaufnahmen des Saturn bei 620 nm und 730 nm (Absorptionen des Methan). Die Planetenscheibe verschwindet, wohingegen die Ringe klar sichtbar sind (Abb. 10). Die linken Bilder sind die Schmalbandaufnahmen, die rechten entsprechen dem Verhältnis zwischen den Schmal- und der Breitbandaufnahmen. Einige Arbeit mehr muss hier jedoch noch erfolgen.

Fazit

Optische Spektroskopie hat ihre Grenzen bei festen Stoffen. Die Untersuchung von Farbindizes der spektralen Albedo jedoch gibt wertvolle Hinweise über die Geologie und Chemie der Objekte. Die Verwendung einer moderaten Ausrüstung wie unserer ermöglicht diese Beobachtungen auch durch den Amateur. Wenn auch die meisten Probleme bei Sonne und Mond überwunden sind, gibt es noch viel Verbesserungspotential für die Planeten: automatisches Nachführen und die Luftunruhe. Eine Verbesserung der Beobachtungstechnologie könnte etwa durch die Anwendung adaptiver Optik vorstellbar sein.

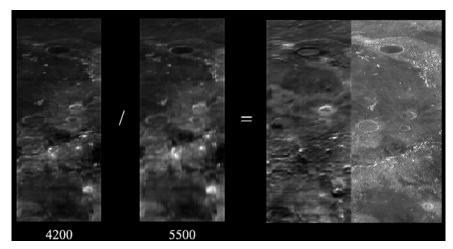


Abb. 9: Vergleich zwischen Fabindexbild und Farbbild für ${\rm TiO_2}$.

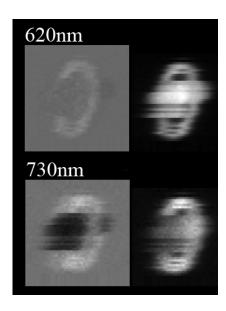


Abb. 10: Saturn absorbiert das Sonnenlicht bei den Wellenlängen von Methan, die Ringe nicht.

Literatur:

- M.P. Charette et al., Application of Remote Spectral Reflectance Measurements to Lunar Geology, Classification and Determination of Titanium Content of Lunar Soils, J. Geophys. Res. 79 (1974) 1605
- Y. Shkuratov et al., A Model of Spectral Albedo of Particulate Surfaces: Implications for Optical Properties of the Moon, Icarus 137 (1999) 235
- T.B. McCord et al., Spectrophotometry (0.3 to 1,1μm) of Visited and Proposed Apollo Lunar Landing Sites, The Moon 5 (1972) 52
- Y. Shkuratov et al., Iron and Titanium Abundance and Maturity Degree Distribution on the Lunar Nearside, Icarus 137 (1999) 222
- S.H. Zisk et al., The Aristarchus-Harbinger Region of the Moon: Surface Geology and History From Recent Remote-Sensing Observations, The Moon 17 (1977) 59

- P.G. Lucey et al., Testing the Relation
 Between UVVIS color and TiO2
 Composition in the Lunar Maria, 35th
 Lunar and Planetary Science Conference
 2004, abstract no.1840
- G.J. Taylor, A New Moon for the Twenty-First Century, http://www.psrd.hawaii.edu/ Aug00/newMoon.html
- G.J. Taylor, Moon Beams and Elements, http://www.psrd.hawaii.edu/Oct97/ MoonFeO.html
- G.J. Taylor, The Surprising Lunar Maria, http://www.psrd.hawaii.edu/June00/ lunarMaria.html
- L. Martel, Lunar Crater Rays Point to a New Lunar Time Scale, http://www.psrd. hawaii.edu/Sept04/LunarRays.html
- M. Davidson, Moon Rocks Under the Microscope, http://micro.magnet.fsu.edu/ publications/pages/rocks.html

Spektroskopische Beobachtung des Veränderlichen β Cas

von Roland Bücke

Auf der Suche nach hellen Referenzsternen für Radialgeschwindigkeitsmessungen traf ich eine erste Auswahl aussichtsreicher Kandidaten mit Hilfe des Verzeichnisses der 614 Fixsterne heller als 4,5 mag in Paul Ahnerts "Kleine praktische Astronomie" [1]. Der Stern β Cas kam in die nähere Wahl, da er weder als spektroskopischer Doppelstern noch als Veränderlicher ausgewiesen wurde.

Eine Recherche in Nachschlagewerken und Handbüchern förderte unerwartet widersprüchliche Angaben zu Tage. So findet man z.B. im Handbuch für Sternfreunde [2] den Vermerk "sd", d.h. visuell bzw. spektroskopisch doppelt. Im Lexikon der Astronomie [3] fehlt hingegen wieder jeglicher Hinweis auf eine Veränderlichkeit. Das Planetariumsprogramm Guide liefert zum Objekt die Information aus dem Hipparcos Anhang für Veränderliche [4]: "Durch Hipparcos neu klassifizierter Veränderlicher; Helligkeit im Maximum errechnet: 2,346; Helligkeit im Minimum errechnet: 2,379; Mittlere Periode: 0,1010370 Tage".

Nun war meine Neugier endgültig geweckt. Was ist das für ein Stern? Ist sein Spektrum variabel? Eine zusätzliche Recherche von wissenschaftlichen Veröffentlichungen im ADS Service [5] erbrachte die nötigen Informationen über diesen Stern " β Cas ist ein pulsierender Veränderlicher vom Typ Delta-Scuti.

Beta Cassiopeia

Delta-Scuti-Sterne gehören zu den Pulsationsveränderlichen der Spektralklassen A2 bis F6. Die Perioden sind mit 0,03 und 0,2 Tagen sehr kurz und die Amplituden der photometrischen Veränderlichkeit größtenteils kleiner 0,1 Größenklassen. Die Radialgeschwindigkeitsamplituden bleiben im Allgemeinen unter 10 km/s.

Die Oszillationen treten in vielfältiger Weise auf: von radialen Pulsationen im Grundmodus bis hin zu nichtradialen Schwingungen auf mehreren Frequenzen. Dementsprechend unterschiedlich sind auch die Lichtkurven. Zeitliche Veränderungen im Lichtwechsel sind dabei keine Seltenheit.

Für β Cas fanden Millis 1966 [6] und Riboni et al. 1994 [7] eine photometrische Periode von 0,10430 bzw. 0,10104 Tagen. Die Amplitude wird mit 0,015 bis 0,017 mag angegeben. Aus der Analyse des umfangreichen Datenmaterials aus einen Zeitraum von 25 Jahren leiteten Riboni et al. ab, dass β Cas in radialer Richtung monoperiodisch pulsiert. Die einzigen Radialgeschwindigkeitsmessungen veröffentlichten Yang et al. [8] im Jahr 1981. Diese ergaben für die Ca II Linie $(\lambda=8662 \text{ Å})$ eine Periode von 0,0976 Tagen. Die Amplitude der Oszillation in der Radialgeschwindigkeit variiert dabei etwas zwischen der Ca-II-Linie und anderen Metalllinien. Sie beträgt ca. 2 km/s.

Die Ergebnisse meiner Literaturrecherche machten mir schnell klar, dass β Cas für Amateure ein sehr schwieriges Objekt darstellt. Nicht nur die sehr kleine Amplitude, sondern auch der schnelle Wechsel innerhalb von 2,5 Stunden stellen hohe Anforderungen an die Auflösung der Messungen unabhängig davon, ob photometrisch oder spektroskopisch beobachtet