



Hans-Georg Zaunick,
**Sonnenbeobachtungen mit einem
Spektrohelioskop**

Artikel erschienen im
Journal für Astronomie Nr. 14,
Vereinszeitschrift der [Vereinigung der Sternfreunde e.V. \(VdS\)](#).

Bereitgestellt durch die [VdS-Fachgruppe Spektroskopie](#).

Referenz:

H.-G. Zaunick, VdS-Journal Nr. 14 (2004) 61ff

Sonnenbeobachtung mit einem Spektrohelioskop

von Hans-Georg Zaunick



Abb. 1:

Oben: Schematischer Strahlengang der Anlage. Unten: Außenansicht des Spektrographen; vorn Coelostatenspiegel, dahinter Hauptobjektiv, Schutzhütte und Strahlenkanal.

In diesem Artikel wird über Sonnenbeobachtungen mit einem Spektrohelioskop berichtet. Bei diesem Gerät handelt es sich um einen Gitterspektrographen nach dem Prinzip von Littrow mit der Möglichkeit der Beobachtung des Sonnenbildes im streng monochromatischen Licht beliebiger Wellenlänge. Das Spektrohelioskop wurde 1975 vom heutigen Leiter der Radebeuler Sternwarte, Achim Grünberg, nach Vorlagen des Amerikaners F. N. Veio (Übersetzung der entsprechenden Publikationen durch Ulrich Fritz) gebaut.

Die Apparatur (Abb. 1) besteht zunächst aus den beiden Coelostatenspiegeln, die das Licht der Sonne in eine feste Richtung zum Spektrographen lenken. Der Hauptspiegel rotiert dabei einmal in 48 Stunden um die Polachse und reflektiert das Sonnenlicht auf den festen Deklinationsspiegel. Dieser sorgt für die Umlenkung des Strahlenganges in N-S-Richtung. Hinter dem Coelostatenspiegel sitzt das Hauptobjektiv (136 mm / 3.400 mm), welches die Sonne in einer Größe von ca. 32 mm auf einen Mikrometerspalt abbildet. Das durchgehende, aber divergente Licht wird durch eine Kollimatorlinse (90 mm / 3.800 mm) parallelisiert und auf das Reflexionsgitter projiziert. Das hier verwendete Gitter hat eine freie Fläche von

VdS-Journal für Astronomie · Vereinszeitschrift der Vereinigung der Sternfreunde (VdS) e.V. Hier schreiben Mitglieder für Sternfreunde.

Herausgeber: Vereinigung der Sternfreunde (VdS) e. V.

Geschäftsstelle: Am Tonwerk 6, D-64646 Heppenheim
Tel: 0 62 52 / 78 71 54 · Fax: 0 62 52 / 78 72 20
E-Mail: vds-astro@t-online.de
www.vds-astro.de

Redaktion: Dr. Werner E. Celnik, Otto Guthier
Wolfgang Steinicke, Dr. Axel Thomas
Dietmar Bannuscher, Sven Melchert
Redaktionelle Mitarbeit der VdS-Fachgruppen-Redakteure und VdS-Mitglieder

Mitarbeit: Charlotte Wehking

Grafiken u. Bild-

bearbeitung: Dr. Werner E. Celnik und die Autoren

Layout: Tina Gessinger/ARTproject, Mannheim

Cartoon: Gerhardt Walther

Anzeigen: Otto Guthier c/o VdS-Geschäftsstelle

Litho und Druck: Produktbüro Lehmann, Waltrop

Vertrieb: Teutsch, Laudenbach

Bezug: „VdS-Journal für Astronomie“ erscheint dreimal pro Jahr und ist im Mitgliedsbeitrag von Euro 25,00, bzw. ermäßigt Euro 18,00 pro Jahr enthalten

Beiträge werden erbeten an:

VdS-Geschäftsstelle, Am Tonwerk 6, D-64646 Heppenheim und an die Redakteure der VdS-Fachgruppen (siehe Redaktionsliste). Redaktionsschluss für die Ausgabe Nr. 15 ist der 28.05.04, für Ausgabe Nr. 16 der 18.09.04.

Mit dem Einsenden gibt der Autor sein Einverständnis zum Abdruck im „VdS-Journal für Astronomie“. Das Copyright obliegt den jeweiligen Autoren. Die abgedruckten Texte geben nicht unbedingt die Meinung der Redaktion wieder.

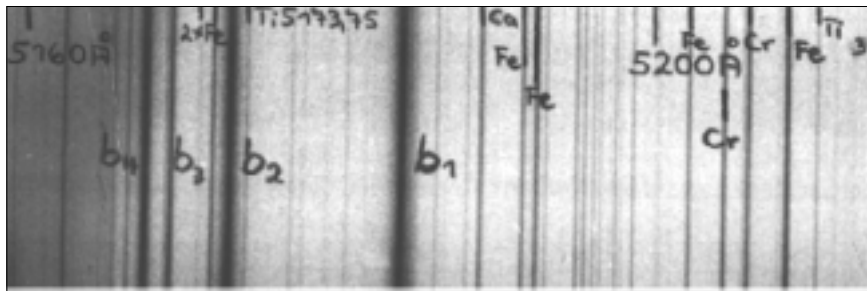


Abb. 2:
Grüner Spektralbereich des Sonnenspektrums mit zahlreichen Metallabsorptionen.

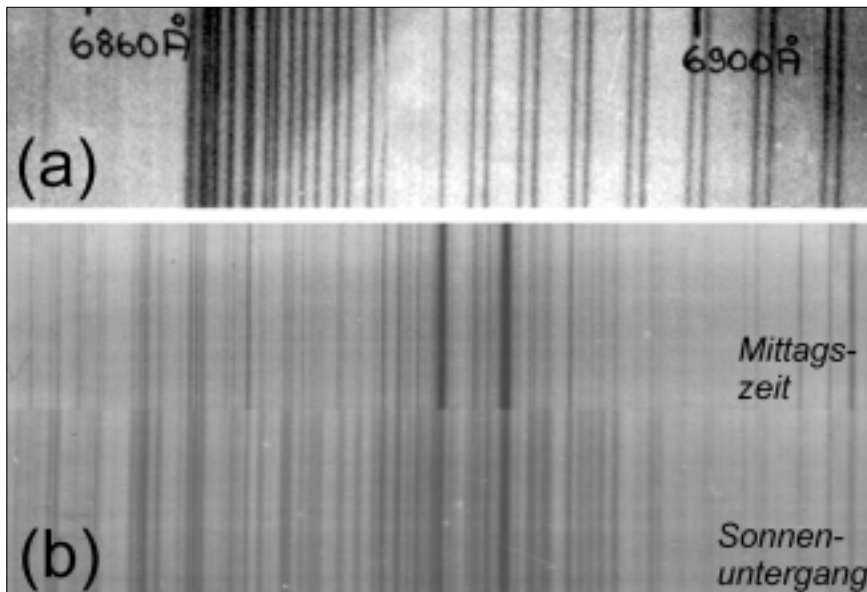


Abb. 3:
Oben: Molekülbande des atmosphärischen Sauerstoffs. Unten: Natrium Doppellinien bei unterschiedlichem Sonnenstand.

58 x 68 mm² und 651 Striche pro mm. Das Licht des Spektrums durchläuft wiederum die Kollimatorlinse (das nennt man auch Autokollimation) und wird durch diese im Abstand ihrer Brennweite in der Fokalebene abgebildet. Das Öffnungsverhältnis des Kollimators bestimmt die Gesamtlichtstärke der Anordnung, hier also 1:42. Zur Vermeidung des schon in geringen Intensitäten extrem störenden Streulichtes müssen beim Bau eines Spektrographen dementsprechende Maßnahmen getroffen werden. So ist die Kollimatorlinse leicht geneigt, um deren Reflexionen zu eliminieren. Im Strahlengang befinden sich weiterhin zahlreiche, unterschiedlich geformte Blenden, die die Fresnelschen Reflexe abfangen.

Der Kollimatorfokus ist infolge der Dispersion des Linsenglases wellenlängenabhängig. Mit Hilfe eines Getriebemotors lässt sich daher die Lage der Fokalebene durch Verschieben des Kollimators variieren. Da der im Austrittsfenster beobachtbare Ausschnitt des Spektrums sehr klein

ist, kann das Spektrum nach oben bzw. unten verschoben werden. Dies wird durch eine ebenfalls motorgesteuerte Neigung des Gitters realisiert.

Mit dem Sonnenspektrographen ist es möglich, im hochaufgelösten Spektrum schwache Absorptionslinien seltener Elemente nachzuweisen (Abb. 2). In solchen Spektren zeichnen sich nicht nur die solaren Absorptionslinien ab, sondern auch Absorptionen der Gase der irdischen Atmosphäre (tellurische Linien). In Abb. 3a sind die Absorptionen des Wassers. Die beiden gelben Na-D-Linien sind zu verschiedenen Tageszeiten in Abb. 3b dargestellt. Während die solaren Linien um die

Abb. 4:
Spektrum eines Sonnenflecks. Die leichten Verdickungen an den Schnittpunkten mit den Linien weisen auf Magnetfelder hin.



Mittagszeit noch deutlich hervortreten, wird das Spektrum 10 Minuten vor Sonnenuntergang von den tellurischen Absorptionen dominiert.

Eine sehr interessante Anwendung eröffnet sich bei genügend großer spektraler Auflösung. Dann sollte die „Beobachtung“ der Magnetfelder von Sonnenflecken aufgrund des Zeeman-Effektes möglich sein. Dieses Phänomen hat eine Aufspaltung von Spektrallinien zur Folge, welche proportional zur Magnetfeldstärke ist. Die absolute Größe ist sehr gering, bei mittleren Magnetfeldern werden nur Bruchteile eines Ångströms erwartet. Zum praktischen Nachweis eignen sich schmale, scharf begrenzte solare Metalllinien vor allem im langwelligen Bereich. Unser derzeitiges Equipment weist nicht die geforderte Auflösung auf. Die fotografische Aufnahme (Abb. 4) zeigt deshalb entlang des Sonnenflecks (dunkler, horizontaler Streifen) nur eine leichte Verdickung der Absorptionslinien.

Die Möglichkeiten eines solch hochdispensierenden Gerätes reichen über die reine Spektralanalyse hinaus. Untersucht man nämlich die Sonnenoberfläche in einem engen, aber festen Spektralbereich, so spricht man vom Prinzip des Spektroheliographen, das gegen Ende des 19. Jahrhunderts unabhängig voneinander von G. E. Hale und H. Deslandres entwickelt wurde.

Zunächst ein Blick auf die Physik des solaren Absorptionsspektrums: Das von der Photosphäre emittierte Kontinuum entfernt sich in radialer Richtung von der Oberfläche und trifft in der höher gelegenen Chromosphäre auf kühle Gasatome, welche elektronisch angeregt werden. Die darauf folgende Re-Emission von Photonen geschieht nun aber gleich verteilt in allen Richtungen. Da dies nur bei diskreten Wellenlängen passiert, erscheint uns das Spektrum an den Stellen der atomaren Anregungen dunkler (Absorptionslinien). Da solche Linien gewissermaßen monochromatische Abbildungen des Eintrittspaltes des Spektrographen sind, sehen wir immer nur einen sehr schmalen Streifen des zu beobachtenden Objektes. Entnimmt

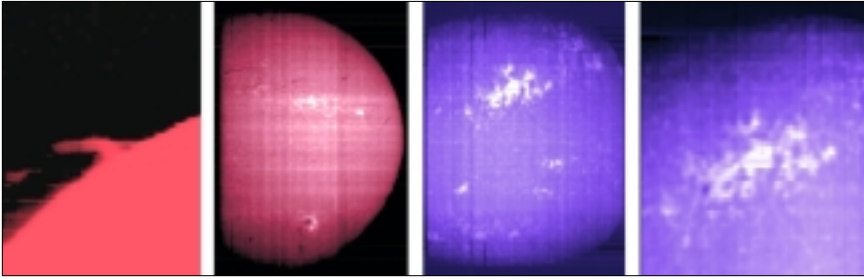


Abb. 5:
von links nach rechts: Protuberanz am Sonnenrand (H α). Sonne im H α -Licht.
Sonne im Licht der CaII-K-Linie. Detail einer aktiven Gruppe.

man nun dieses Licht, z. B. das der H α -Linie, aus dem Spektrum und lässt dann das Sonnenbild langsam über den Eintrittsspalt des Spektrographen laufen, so erscheinen am Austrittsfenster hintereinander monochromatische Spaltbilder unterschiedlicher Stellen der Sonne, die zusammengesetzt ein Gesamtbild im Licht der entsprechenden Absorptionslinie repräsentieren. Der Vorteil zum herkömmlichen Interferenzfilter liegt in der freien Wahl der Beobachtungswellenlänge.

Konventionelle Methoden der Rekonstruktion des Sonnenbildes aus den einzelnen Spaltbildaufnahmen arbeiten mechanisch. Häufig werden zwei synchron vor Ein- und Austrittsspalt rotierende Anderson-Prismen (quadratischer Grundriss) verwendet. Andere Varianten arbeiten mit speziell geschlitzten, rotierenden Scheiben oder oszillierenden Schlitzten. Eine modernere Möglichkeit der spektroheliographischen Erfassung ist die Verwendung einer elektronischen CCD-Zeilenkamera, die exakt auf eine Absorptionslinie positioniert wird und so die schnelle Aufnahme des monochromatischen Spaltbildes gewährleistet. Am Austrittsfenster müssen somit keine mechanischen Teile mehr bewegt werden, um das Sonnenbild zusammenzusetzen. Durch ausreichend schnelles Auslesen der Kamera können die Einzelzeilen im Computer einfach zu einem Gesamtbild kombiniert werden. In unserem momentanen Aufbau wird die CCD ILX 703 von SONY benutzt. Dieser Chip besteht aus 2.048 Pixeln (jeweils 14 x 14 μm^2). Der Detektor wird so angesteuert, dass etwa alle 300 Millisekunden eine komplette Zeile ausgelesen und mittels eines A/D-Wandlers an einen PC transferiert wird.

Um die gesamte Sonnenoberfläche abzutasten, muss das Sonnenbild senkrecht über den Eintrittsspalt bewegt werden. Dazu nutzt man am Besten die scheinbare Bewegung der Sonne. Aufgrund der Coelostatengeometrie liegt aber der

Himmelsäquator in seiner Projektion parallel zum Spalt, so dass die Eigenbewegung nur eine Verschiebung des Bildes in Spaltrichtung bewirken würde. Abhilfe schafft hier ein sog. Dove-Prisma, welches in unserem Fall eine Bildrotation um 90° realisiert.

Einige spektroheliographische Aufnahmen sind in Abb. 5 dargestellt. Deutlich treten die relativ kontrastreichen Protuberanzen am Sonnenrand hervor. Das Bild im H α -Licht zeigt chromosphärische Strukturen: Helle Flächen sind ausgedehnte Fackelgebiete hauptsächlich in der Nähe von Sonnenflecken. Protuberanzen vor der Sonnenoberfläche (Filamente) erscheinen dunkel. Außerdem ist das chromosphärische Netzwerk auszumachen. Auch in der Aufnahme der violetten Kalziumlinie (CaII-K) zeichnen sich helle Gebiete im Bereich aktiver Zonen der Sonnenoberfläche ab (Kalzium-Floculi). Hier sind aber deutlich tiefere Schichten der Chromosphäre als in der H α -Aufnahme sichtbar. Auf der ungestörten Oberfläche fällt, ähnlich wie im Wasserstofflicht, die Supergranulation bzw. das Kalzium-Netzwerk auf.

Die senkrechten Streifen in den Bildern werden durch mikrometergroße Staupartikel auf dem Eintrittsspalt hervorgerufen, deren komplette Beseitigung fast unmöglich ist. In Planung ist daher ein Ventilationssystem, welches einen leichten Überdruck im Strahlenkanal zwischen Spalt und Gitter erzeugt, um Staub fernzuhalten. Zur Qualität dieser Bilder muss außerdem gesagt werden, dass der Spektrograph noch zum großen Teil aus provisorischen Aufbauten besteht. Eine solidere Konstruktion ist geplant.

Die Breite des monochromatischen Spektralbereiches, in dem die Beobachtung geschieht, wird in erster Linie durch das spektrale Auflösungsvermögen festgelegt. Für das beschriebene Gerät ergibt sich ein Wert von ca. 44.000. Das bedeutet, dass im grünen Spektralbereich

Wellenlängen, welche 0,01 nm voneinander entfernt sind, gerade noch mit Sicherheit getrennt werden können. In der Praxis wird die spektrale Auflösung jedoch durch eine Reihe von konstruktiven Merkmalen begrenzt. Ein maßgeblicher Faktor ist der Winkel, unter dem der Eintrittsspalt am Ort des Gitters erscheint. Folglich lässt sich durch einen möglichst großen Abstand Spalt-Gitter die tatsächliche Auflösung an die theoretische annähern. Die CCD-Zeile am Spektralaustritt registriert demzufolge monochromatisches Licht innerhalb einer Bandbreite von etwa 0,02 nm. Realistisch gesehen ist dies wiederum ein theoretischer Wert, tragen doch auch optische Fehler, Schwingungen, thermische Effekte etc. zur Degradation des Gesamtsystems bei.

Der Neubau des Spektroheliographen durch den an der Sternwarte ansässigen Astroclub ist mit folgenden Modifikationen in naher Zukunft geplant:

- Einsatz eines Gitters mit 1200 Linien/mm

- Ausrüstung aller mechanisch bewegten Teile mit Präzisionsantrieben

- Bau einer größeren Schutzhütte

Damit sollte sich nicht nur die regelmäßige Überwachung der Sonne in verschiedenen Spektralbereichen realisieren lassen, sondern auch die Messung von Dopplerverschiebung und Magnetfeldstärken. Die spektroheliographische Beobachtung der Planeten und der hellsten ekliptiknahen Sterne ist ebenfalls angedacht.

Literaturhinweise

- [1] Ingalls, A. G., Hale, G. E. et al., 1970: „Amateur Telescope Making – Book One“, Scient. Amer. Inc., N.Y.
- [2] Veio, F. N.: „Die Sonne im H-Alpha-Licht mit einem Spektroheliograph“
- [3] Veio, F. N.: „The Spectroheliograph“
- [4] Datenblatt SONY CCD ILX 703, SONY Semiconductors
- [5] Kaler, J. B., 1993: „Sterne und ihre Spektren“, Spektrum-Verlag, Heidelberg
- [6] Graff, K., 1928: „Grundriß der Astrophysik“, B.G. Teubner, Leipzig/Berlin
- [7] Strömberg, B., 1937: „Astrophysik“, AVG, Leipzig
- [8] Saidel, Prokofjew, Raiski, 1955: „Spektraltabellen“, VEB Verlag Technik, Berlin
- [9] Mitton, J., 1975: „The Stronger Absorption Lines In The Solar Spectrum“, J. British Astro. Soc.
- [10] VdS-Fachgruppe SONNE: „Handbuch für Sonnenbeobachter“