Die Chromosphäre im Ca II K- Interferenzfilter von Lunt Solar Systems

Die violette Sonne

■ Von Dr. Thomas K. Friedli & Patrick Enderli

Die Chromosphäre der Sonne gehört zu den faszinierendsten Beobachtungsobjekten, welche Amateurastronomen zugänglich sind. Während die in der roten H-alpha Linie des Wasserstoffs beobachtbaren Protuberanzen, Eruptionen und Filamente einem weiteren Publikum bekannt sind, zeigt die Chromosphäre in der violetten Fraunhoferlinie K des einfach ionisierten Kalziums bei 393.4nm Wellenlänge ein ganz anderes Gesicht: Hier dominieren die hellen chromosphärischen Fackeln (Plages) sowie das chromosphärische Netzwerk das Geschehen. Das Ca II K Kalziumfilter von Lunt macht diese Welt mit wenig Aufwand allgemein zugänglich und eröffnet dem ambitionierten Amateur zahlreiche neue Möglichkeiten.

Engbandige Ca II K Interferenzfilter sind schon längere Zeit auf dem Markt: Günter Appelt begeisterte bereits in den frühen 1980 Jahren mit seinen „blauen Sonnen", welche er mit einem Daystar Kalziumfilter aufnahm (Appelt, 1981). Derartige Filter waren jedoch ein ziemlich teurer Spass. Erst die vergleichsweise preiswerten Kalziumteleskope und –filter von Coronado sorgten nach 2005 für eine weite Verbreitung mit eigener Fangemeinde. 2007 wurde die Produktion von Kalziumfiltern bei Coronado jedoch wieder eingestellt. Seit 2008 sind ähnliche Kalziumteleskope und -filter von der Firma Lunt Solar Systems erhältlich. Eine eingehende Produktbesprechung findet sich in Dittler (2009). Wir setzen seit September 2008 auf dem Sonnenturm Uecht in Niedermuhlern ein Lunt Ca II K Diagonalmodul mit einem BF1200 Blockfilter und einer Halbwertsbreite von rund 2.4 Å ein. Dieses kompakte Modul kann an allen Refraktoren verwendet werden, welche über einen 2" Okularstutzen verfügen und eine Öffnung von maximal 10 cm aufweisen. Für jede Brennweite gibt es ein passendes Blockfilter. Das BF1200 Blockfilter weist einen Durchmesser des optischen Fensters von 12 mm auf und ist für Brennweiten bis maximal 1200 mm geeignet. Das Filtermodul ist rund 460 g schwer und wird wie ein Zenitspiegel in den Okularstutzen eingeführt. Es benötigt keine zusätzlichen Vorfilter und ist wartungsfrei. Im 1.25 Zoll Okularstutzen des Filtermoduls können wahlweise Okulare oder über das integrierte T2 Gewinde digitale Kameras angeschlossen werden.

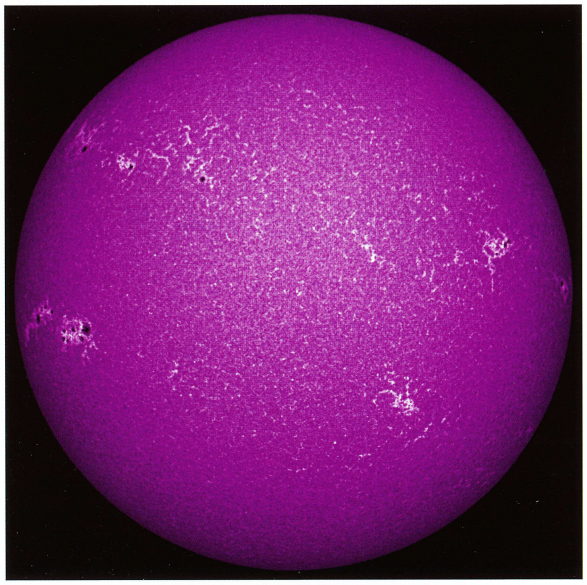

Abbildung 1: Die Chromosphäre der Sonne im violetten Licht des einfach ionisierten Kalziums bei 393.4 nm Wellenlänge am 30. Mai 2011 um 08:55 UT. Aufnahme am TeleVue NP-101 Refraktor des Sonnenturms Uecht in Niedermuhlern. Lunt Ca II K Diagonal Kalziumfilter mit einer Halbwertsbreite von rund 2.4 Å. Atik 320e CCD Kamera mit einem Sonnendurchmesser von 1136 Pixeln und einer Auflösung von 1.7 Bogensekunden pro Pixel. Einfärbung und Waveletfilterung in MaxIm DL 5. Zu sehen sind mehrere Aktivitätsgebiete mit dunklen Sonnenflecken und hellen Fackelfeldern (Plages). Auf der Sonnenscheibe lässt sich zudem das helle chromosphärische Netzwerk ausmachen, welches die Ränder der Supergranulationszellen nachbildet.

Visuelle Beobachtung

Um es gleich vorweg zu nehmen: nur die wenigsten Personen können bei 393.4 nm Wellenlänge visuell überhaupt etwas erkennen. Daher sind visuelle Kalziumbeobachtungen für öffentliche Demonstrationen ungeeignet. Wer dennoch visuell beobachten kann und will, sollte darauf achten, möglichst wenig Glas zwischen Auge und Filter einzubringen. Allfällige Brennweitenverlängerungen und Okulare sollten von einfachster Bauart sein. Gut bewährt haben sich die Okulare sowie die Barlowlinse von Coronado, welche eigentlich für die H-alpha Beobachtung entworfen wurden.

Fotografische Beobachtung

Die Kalziummodule von Lunt sind speziell für die fotografische Anwendung optimiert. Die Brennweite des Instruments muss allerdings sorgfältig auf die Chipgrösse und die gewünschte Bildauflösung abgestimmt werden, da die optische Vergütung von allfälligen verkürzenden oder verlängernden Brennweitenadaptern möglicherweise die Bildqualität ruiniert und die Transparenz im nahen UV vermindert. Zuerst setzten wir unser Diagonalmodul an einem TV-76 Refraktor von TeleVue ein (Abbildung 2), welcher huckepack auf das robotische 8" LX200R des Sonnenturms Uecht montiert war. Der ED Refraktor besitzt eine Öffnung von 76 mm und eine

Brennweite von 480 mm und liefert ein primäres Sonnenbild mit 4.5 mm mittlerem Durchmesser. Als Kamera benutzten wir eine Meade DSI III pro Webcam. Diese besitzt einen monochromen CCD Chip mit 1360 x 1029 Pixeln. Das Sonnenbild weist einen Durchmesser von 700 Pixel auf, woraus ein Abbildungsmassstab von 2.7 Bogensekunden pro Pixel resultiert (Abbildung 3). Diese Konfiguration hat sich in praxi gut bewährt, sowohl für Livedemonstrationen wie auch für dokumentarische Übersichtsfotografien. Allerdings wecken die resultierenden Chromosphärenbilder Appetit nach mehr, denn ganz offensichtlich könnten sowohl das Instrument wie auch der Filter wesentlich feinere Details auflösen. Um den Spielraum des Kalziummoduls voll auszunutzen, wechselten wir mit dem allgemeinen Upgrade des Instrumentariums auf dem Sonnenturm Uecht im Herbst 2010 auf einen TeleVue NP-101 Flatfield Refraktor mit 101 mm Öffnung und 540 mm Brennweite. Mit einer TeleVue Barlowlinse verlängerten wir die Brennweite des Refraktors auf 1080 mm und montierten eine monochrome Alccd 9 Kamera von Astrolumina mit 3326 x 2504 Pixeln, was ein Sonnenbild

Abbildung 2: Der TeleVue TV-76 Refraktor huckepack montiert auf dem 8" Meade LX200R des Sonnenturms Uecht in Niedermuhlern, ausgerüstet mit dem Lunt Ca II K Diagonal und der monochromen Meade DSI III pro Webcam. Das ferngesteuerte Fokussieren erfolgt mit dem TeleVue Focusmaster mit 1 Mikron Ablesegenauigkeit.

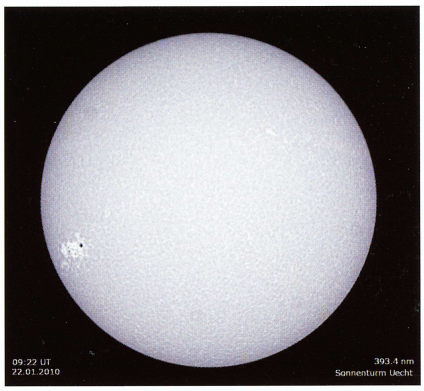

Abbildung 3: Chromosphärisches Netzwerk und Plages in Ca II K vom 22. Januar 2010, aufgenommen auf dem Sonnenturm Uecht mit einem TeleVue TV-76 Refraktor, einem Lunt Ca II K Diagonal und einer Meade DSI III pro Webcam. Komposit aus 10 Rohbildern ohne Kalibrierung mit Waveletfilterung in MaxIm DL 5.

von 2397 Pixeln mit einem Abbildungsmassstab von 0.8 Bogensekunde pro Pixel ergab (Aufnahme 4). Die ersten Aufnahmen wiesen jedoch ein stark ungleichmässig ausgeleuchtetes Sonnenbild mit vertikalen Helligkeitsgradienten auf, die sich nicht wegkalibrieren liessen. Eingehendere Tests zeigten, dass der mechanische Kameraverschluss die kurzen Belichtungszeiten von 0.01 s nicht über das ganze Bildfeld einhalten kann und überdies je nach räumlicher Lage der Kamera eine andere Ruheposition einnimmt – oft nicht einmal vor dem Chip. Auch war die Hebelwirkung der CCD Kamera mit vorgeschalteter Barlowlinse so gross, dass sich das Sonnenbild auf dem Chip nach einem Meridianflip des Instruments infolge der relativ schwachen Befestigung des Zenitspiegels am Filterrohr jeweils um mehr als einen Drittel Sonnendurchmesser verschob. Wir wechselten daher auf eine leichtere Atik 320e CCD Kamera mit elektronischem Verschluss (Abbildung 5), welche ohne Barlowlinse ein Sonnenbild mit 1136 Pixeln Durchmesser bei einem Abbildungsmassstab von 1.7 Bogensekunden pro Pixel liefert (Abbildung 1). Diese Konfiguration soll in naher Zukunft weiter verbessert werden, indem statt dem Diagonalmodul ein ebenfalls bei Lunt erhältliches Geradsichtmodul verwendet wird. Dadurch könnten wieder Brennweitenverlängerungen und grossformatige CCD Kameras eingesetzt werden. Speziell geeignet erscheinen uns hierzu Kameras mit dem KAI-4022 Interline Chip mit 2048 x 2048 Pixeln und zusätzlichem mechanischem Verschluss.

Beobachtungsplan

Hobbyastronomen bietet die violette Sonne primär ein faszinierendes Motiv, um astrofotografisch tätig zu werden. Wie die Webseiten der Hersteller und die Foren der User beweisen, haben dies schon Viele mehr oder weniger erfolgreich getan, auch wenn seit der Einführung der erschwinglichen Kalziumfilter von Coronado und Lunt die Sonnenaktivität ziemlich schwach war. Die nächsten paar Jahre sehen da wesentlich günstiger aus, erwarten wir doch zum Jahreswechsel 2013/2014 das nächste Aktivitätsmaximum.

Als langjährige, engagierte Amateursonnenbeobachter möchten wir jedoch andere Wege beschreiten und in einem ersten Schritt eine möglichst lückenlose Dokumentation der Sonnenchromosphäre in Ca II K aufbauen. Die erhaltenen Bilddokumente werden wir sodann in einem zweiten Schritt als Messplattformen zur Bestimmung der langfristigen chromospärischen Aktivitätsindices nutzen.

Abbildung 4: Die Astrolumina Alccd 9 Kamera mit vorgeschalteter Barlowlinse im nachgerüsteten Baader Okularstutzen des Lunt Ca II K Diagonalmoduls.

Aber ist dies mit Amateurmitteln überhaupt möglich? Und welche

Anforderungen müssen erfüllt sein, um bei den bestehenden professionellen Überwachungsprogrammen allenfalls mitwirken zu können?

Anforderungen

Seit der Erfindung des Spekroheliographen durch G. E. Hale und H. Deslandres um 1892 (Hearnshaw, 2009) wurde die Chromosphäre der Sonne im Licht des einfach ionisierten Kalziums bei 3933.67 Å von mehreren Observatorien permanent überwacht. Besonders lange Beobachtungsreihen liegen vor vom Kodaikanal Observatorium in Indien, vom Mt. Wilson Observatorium in Kalifornien und vom Sonnenobservatorium in Arcetri bei Florenz (Bertello et al. 2010, Ermolli et al. 2009a). In den letzten Jahren wurden mehrere dieser historischen Plattenarchive gescannt und homogenisiert. Die analysierten FITS Bilder weisen eine Auflösung von 1.3 bis 2.7 Bogensekunden pro Pixel auf, was einem Sonnendurchmesser von 1800 bis 800 Pixeln entspricht (Tlatov et al. 2009, Ermolli et al. 2009b). Eine Analyse von Worden et al. (1998) zeigte, dass bereits in einem Heliogramm mit 512 Pixeln Durchmesser alle relevanten Informationen enthalten sind, um die langfristigen Aktivitätsschwankungen der Chromosphäre bestimmen zu können.

In den 1990 Jahren wurde auf Anregung des *Radiative Inputs of the Sun to Earth (RISE)* Forschungsprogramms am Nationalen Sonnenobservatorium (NSO) in Sacramento Peak, New Mexico ein Precision Solar Photometric Telescope (PSPT) entworfen, bestehend aus einem streulichtarmen Refraktor mit 15 cm Öffnung, einem Ca II K Interferenzfilter mit Halbwertsbreite 2.5 Å sowie einer grossformatigen CCD Kamera mit einer Auflösung von 1 Bogensekunde pro Pixel. Ein Prototyp mit einer CCD Kamera mit 2 Bogensekunden Auflösung pro Pixel wurde in Rom aufgestellt (Coulter und Kuhn, 1994; Ermolli et al. 1998), das Hauptinstrument steht seit 1998 auf dem Mauna Loa in Hawaii im täglichen Einsatz. Auf dem Observatorium Kanzelhöhe ist zudem seit mehreren Jahren ein 11 cm Refraktor mit einem Daystar Kalziumfilter mit 0.3 nm Halbwertsbreite und einer grossformatigen 2048 x 2048 Pixel CCD Kamera in Betrieb. Damit wird klar, dass unser „Amateurequipment“, bestehend aus einem stationär montierten, robotisch betriebenen Refraktor mit 10 cm Öffnung, einem Lunt Ca II K Interferenzfilter mit 2.4 Å Halbwertsbreite und einer grossformatigen CCD Kamera mit einer Auflösung von 1 Bogensekunde pro Pixel die Anforderungen für ein konkurrenzfähiges Monitoring der Chromosphärenaktivität in Ca II K erfüllt.

Abbildung 5: Der TeleVue NP-101 Refraktor mit fernsteuerbarem Optec TCF-S Okularauszug auf der deutschen 10micron GM2000 Montierung des Sonnenturms Uecht in Niedermuhlern (rechts unten), ausgerüstet mit dem Lunt Ca II K Diagonal und der rotfarbenen monochromen Atik 320e CCD Kamera. (Teleskop rechts unten)

Täglicher Routinebetrieb

Am 1. Januar 2011 starteten wir den Routinebetrieb am Kalziuminstrument des Sonnenturms Uecht. Vorerst begnügen wir uns mit einer orientierten und kalibrierten CCD Aufnahme pro Tag. Da das Instrumentarium noch nicht per Internet ferngesteuert werden kann, muss für die Aufnahme mindestens ein Observator vor Ort präsent sein, was die Zahl der nutzbaren Beobachtungstage etwas einschränkt. Bis Mitte Juni konnte immerhin an rund 60 Tagen (33%) ein brauchbares Kalziumbild aufgenommen werden. Abbildung 6 zeigt stellvertretend eine fast zusammenhängende Aufnahmeserie während 9 Tagen. Man erkennt einzelne, in zwei Gürteln nördlich und südlich des Sonnenäquators angeordnete Aktivitätsgebiete mit dunklen Sonnenflecken und hellen chromosphärischen Fackeln (Plages). Einzelne Aktivitätsgebiete zeigen keine Sonnenflecken, nur angeregtes chromosphärisches Netzwerk. Alle Sonnenbilder sind so orientiert, dass Osten rechts und Norden oben ist. Dadurch wird die Sonnenrotation (und die Schiefe des Sonnenäquators) augenfällig. Während der

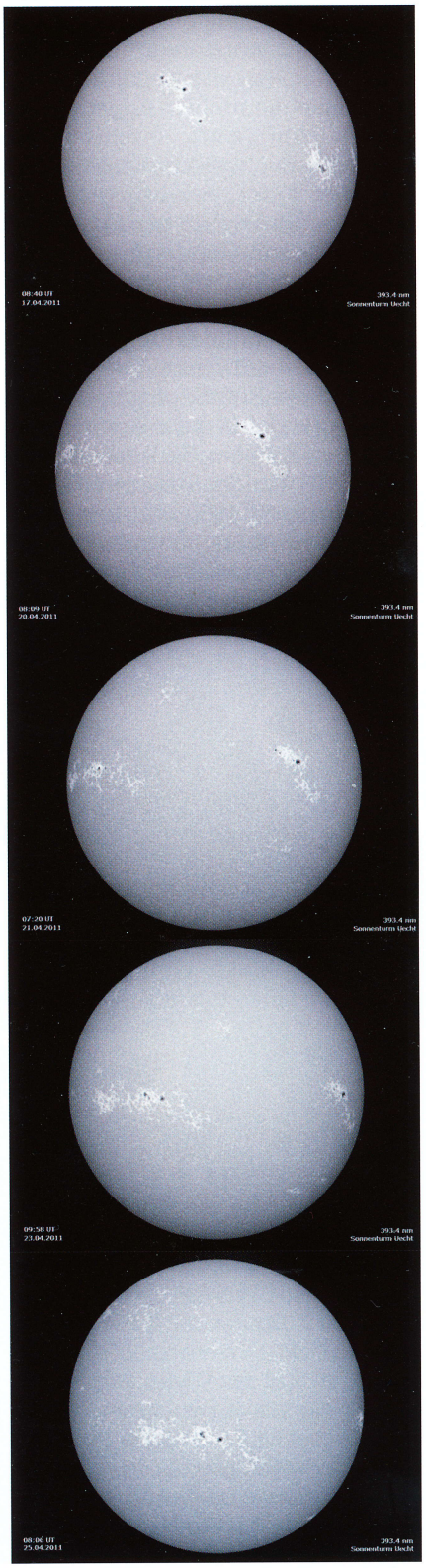

Abbildung 6: Chromosphärenaktivität in Ca II K im April 2011. Alle Aufnahmen wurden mit dem in Abb. 1 beschriebenen und in Abb. 5 gezeigten Instrumentarium aufgenommen. Manuelle Bildverarbeitung in MaxIm DL 5.

Aufnahme hat der Observator alle Hände voll zu tun: Zuerst müssen die Montierung, das Instrument und die Kamera hochgefahren sowie die Kuppel geöffnet werden. Dann muss das Instrument mit Hilfe von MaxIm DL auf die Sonne ausgerichtet und das Sonnenbild fokussiert werden. Anschliessend wird in MaxIm DL automatisch eine Sequenz von 25 Rohbildern aufgenommen. Die Belichtungszeit eines Einzelbildes beträgt typischerweise 0.003 sec. Anschliessend wird am Bildschirm die schärfste Einzelaufnahme herausgesucht. Ist das Ergebnis unbefriedigend, werden weitere Rohbildsequenzen aufgenommen. In MaxIm DL wird sodann Hintergrund und Kontrast korrigiert und das Bild mittels eines speziell entwickelten Waveletfilters geschärft. Schliesslich wird das Bild orientiert und für das Internet passend komprimiert und beschriftet. Während der manuellen Bildbearbeitung, kann die Kuppel wieder geschlossen und die Instrumente und Zusatzgeräte heruntergefahren werden. Typischerweise nimmt eine vollständige Beobachtungssequenz an allen drei Überwachungsinstrumenten des Sonnenturms Uecht (Weisslicht, Kalzium, H-alpha) mit anschliessender Bildbearbeitung rund zwei Stunden in Anspruch.

Ausblick

Der Routinebetrieb ist zwar erfolgreich angelaufen, doch kann die hohe Präsenz von Observatoren auf dem Sonnenturm auf die Dauer nicht aufrechterhalten werden. Weitere Automation ist unabdingbar. Dies umfasst das Zentrieren des Sonnenbildes auf dem Chip, das Fokussieren, die Qualitätsbestimmung, das Flatfielding, die Bildverarbeitung sowie die Bestimmung der chromosphärischen Aktivitätsindices wie sie in Bertello et al. (2010), Tlatov et al. (2009) sowie in Worden et al. (1998) beschrieben ist.

Dr. Thomas K. Friedli
Ahornweg 29
CH-3123 Belp

Patrick Enderli
Dorf 3
CH-3087 Niedermuhlern

Literatur

- Appelt, G. (1981): SONNE 5, 142.
- Bertello, L., Ulrich, R.K., and Boyden, J.E. (2010): Solar Phys. 264, 31-44.
- Coulter, R.L., Kuhn, J.R. (1994). In: K.S. Balasubramaniam and G.W. Simon (Eds.), Solar Active Region Evolution: Comparing models with observations: ASP Conference Series, 68, 37-42.
- Dittler, U. (2009): Interstellarum 66, 54-56.
- Ermolli, I., Fofi, M., Bernacchia, C., Berrilli, F., Caccin, B., and Egidi, A. (1998): Solar Phys. 177, 1-10.
- Ermolli, I., Solanki, S.K., Tlatov, A.G., Krivova, N.A., Ulrich, R.K., and Singh, J. (2009a): ApJ. 698, 1000-1009.
- Ermolli, I., Marchei, E., Centrone, M., Criscuoli, S., Giorgi, F., and Perna, C. (2009b): A&A. 499, 627-632.
- Hearnshaw, J.: Astronomical Spectrographs and their History. Cambridge University Press. 2009.
- Tlatov, A.G., Pevtsov, A.A., and Singh, J. (2009): Solar Phys. 255, 239-251.
- Worden, J.R., White, O.R., and Woods, T.N. (1998): ApJ. 496, 998-1014.
- http://www.solarpatrol.ch http://www.kso.ac.at http://lasp.colorado.edu/pspt_access/ http://www.luntsolarsystems.com/

Helle Supernova in sicherer Ferne

Das lang anhaltende Schönwetter in diesem Frühjahr nutzte Jonas Schenker, um anlässlich des Teleskoptreffens auf der Ahornhöhe vom 6. bis 8. Mai 2011 die neu entdeckte Supernova SN 2011by in der Galaxie NGC 3972 zu fotografieren. Die Supernova wurde am 26. April 2011 von den beiden Chinesen Zhangwei Jin und Xing Gao entdeckt. Aufgrund Ihres Lichtspektrums vermutet man, dass es sich um eine Supernova des Typs 1a handelt, die sehr früh erwischt wurde, etwa 10 Tage vor dem Helligkeitsmaximum. Die Galaxie befindet sich etwa 60 Mio. Lichtjahrer von uns entfernt, sodass wir die Supernova aus sicherer Distanz beobachten können. Schenker schreibt zu seinem Bild: «Auf dem Ahorn konnte die Supernova (meine erste!) gerade etwa während des vermuteten Maximums fotografiert werden. Die Muttergalaxie NGC 3972 befindet sich zenitnah im Kasten des grossen Wagens, nahe γ UMa. Auf dem Foto sind zig- weitere Galaxien sichtbar; ein äusserst interessantes Gebiet!» (Bild: Jonas Schenker)