DSLR-Kameras im Einsatz mit dem Baader Solar Continuum Filter

Die grüne Sonne

Von Dr. Thomas K. Friedli & Patrick Enderli

Die Fotografie der Sonne ist seit ihren Anfängen Mitte des 19. Jahrhunderts ein vielbeachtetes Spezialgebiet der Astrofotografen und Sonnenbeobachter. Astrofotografen fordert die enorme Lichtfülle, die multiskalige Luftunruhe sowie der riesige Abbildungsmassstab. Sonnenbeobachter hingegen schätzen Fotografien als objektive Messplattformen und archivierbare Bilddokumente, welche eine langfristig homogene und reproduzierbare Überwachung der Sonnenaktivität ermöglichen. Handelsübliche digitale Spiegelreflexkameras sind hierfür hervorragend geeignet und bieten dem ambitionierten Amateur mit wenig Aufwand die Chance, professionell konkurrenzfähige Resultate zu erzielen.

In den 1990 Jahren und zu Beginn des neuen Jahrtausends steckte die Amateursonnenfotografie in einer tiefen Krise: die Produktion der bewährten Filmmaterialien und Entwicklerchemikalien wurde nach und nach eingestellt und die nachdrängenden CCD-Kameras waren zu klein, zu teuer und erforderten einen riesigen Mehraufwand sowohl in der mechanischen Ausstattung der Beobachtungsinstrumente wie in der für die Steuerung und Auswertung der neuen Detektoren benötigten Hard- und Software.

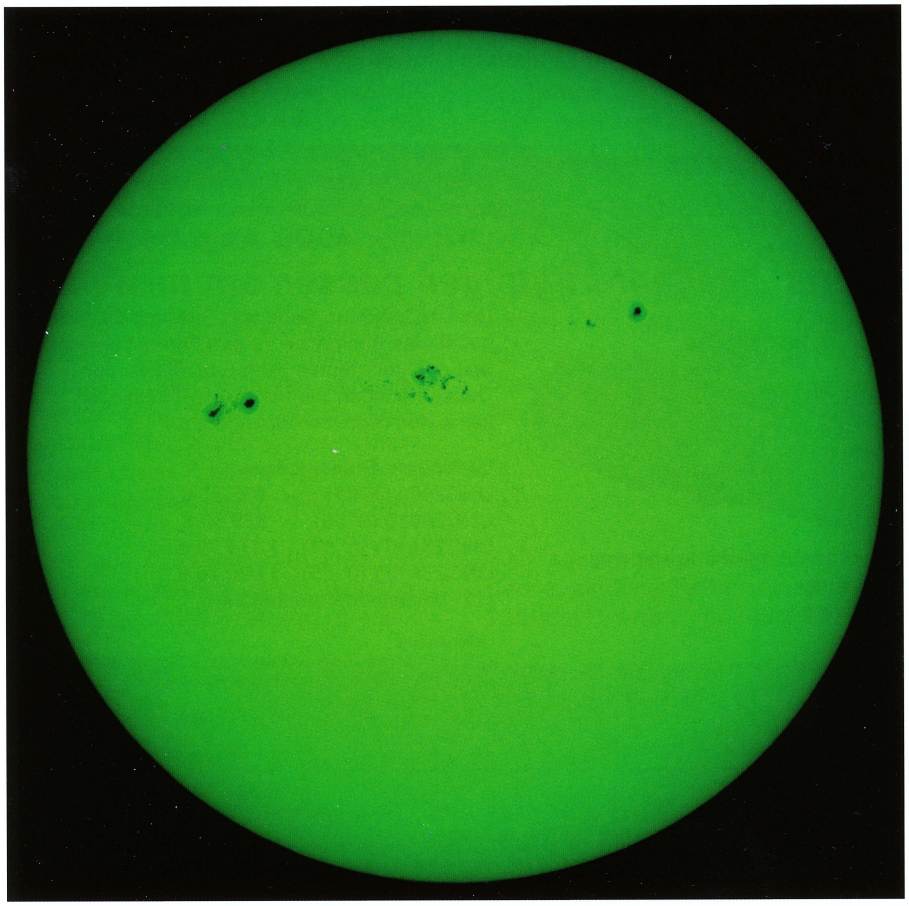


Abbildung 1: Die Photosphäre der Sonne im grünen Licht bei 540 nm Wellenlänge am 1. Aug. 2011 um 07:28 UT. Aufnahme am TeleVue NP-101is Refraktor des Sonnenturms Uecht in Niedermuhlern. Baader 2" Cool-Ceramic Safety Herschelprisma mit Baader 2" ND Graufiltern und Baader 2" Solar Continuum Filter. Canon 550D DSLR mit 5184 x 3456 Pixeln und einer Auflösung von 0.62 Bogensekunden pro Pixel. LiveView Fokussierung und Waveletfilterung in MaxIm DL 5. Zu sehen sind mehrere Aktivitätsgebiete mit dunklen Sonnenflecken und hellen Fackelfeldern. Auf der Sonnenscheibe lässt sich zudem ansatzweise die Granulation ausmachen.

Im Sommer 2003 brachte Canon die 300D auf den Markt, die erste einer ganzen Reihe von sog. Digital Single Lens Reflex (DSLR) Kameras, welche die einfache Bedienung einer herkömmlichen Spiegelreflexkamera mit der Leistungsfähigkeit einer CCD-Kamera vereinigte und die Sonnenfotografie revolutionierte (Reeves, 2005): Die Kamera konnte mittels herkömmlichen T-Adaptern an das bisher zur Fotografie verwendete Instrumentarium angeschlossen, das Objekt über einen Sucher ausgerichtet und fokussiert werden, der über einen optional erhältlichen elektronischen Drahtauslöser wackelfrei bedienbare Kameraverschluss erlaubte Belichtungszeiten bis 1/4000 s sowie Reihenaufnahmen von mehreren Bildern pro Sekunde und die geschossenen Bilder konnten auf einer entnehmbaren Karte gespeichert und in einem bald von zahlreichen Astrobildbearbeitungsprogrammen, insbesondere von MaxIm DL und Images Plus unterstützten Rohformat eingelesen und in das gängige FITS Format konvertiert werden. Zudem war der CMOS-Chip mit einem inzwischen zum APS-C Standard gewordenen Format von 22 x 15 mm mit 3072 x 2048 Pixel vergleichsweise riesig und erlaubte erstmals eine mosaikfreie Digitalaufnahme der ganzen Sonnenscheibe. Als Herausforderung erwiesen sich die fehlende

Kühlung des Detektors sowie die sog. Bayer Farbcodierung der einzelnen Pixel, welche die simultane Aufnahme eines Farbbildes erlaubt. Inzwischen wurden die von nunmehr zahlreichen Herstellern angebotenen Kameras laufend verbessert. Von astrofotografischem Interesse ist hierbei einerseits die gesteigerte Bildauflösung und Digitalisierungstiefe, die integrierte Rauschunterdrückung sowie die LiveView-Vorschau des Sonnenbildes.

Beobachtungsplan

Schon seit den 1980 Jahren träumen wir Amateursonnenbeobachter vom Aufbau einer möglichst lückenlosen fotografischen Dokumentation der Sonnenphotosphäre im weissen Licht. Die erhaltenen Bilddokumente sollten hierbei als Messplattformen zur routinemässigen Bestimmung heliografischer Positionen und Flächen von Sonnenfleckengruppen dienen. Dies erwies sich mit dem damaligen Stand der Technik als undurchführbar: Zu gross waren der zeitliche und apparative Aufwand in der Dunkelkammertechnik und Bildauswertung, zu unstabil die Bildqualität und Fokussierung. Erst als wir anlässlich des Venusdurchgangs vom 8. Juni 2004 erfolgreich eine der neuartigen DSLR-Kameras einsetzten, lebten die alten Pläne wieder auf. Aber welche Anforderungen müssen erfüllt sein, um mit den professionellen Überwachungsprogrammen konkurrieren zu können?

Abbildung 2: Der 4" TeleVue NP-101is Refraktor mit fernsteuerbarem JMI Fokussierungsmotor auf der deutschen 10micron GM2000 Montierung des Sonnenturms Uecht in Niedermuhlern (rechts oben), ausgerüstet mit dem Baader Cool-Ceramic Safety Herschelprisma und einer Canon 550D DSLR-Kamera. Aufnahme Mai 2011.

Anforderungen

Die fotografische Dokumentation der Sonnenphotosphäre hat eine lange Tradition, welche mit der Erfindung des Photoheliographen durch Warren de la Rue im Jahr 1857 ihren Anfang nahm und bis in die 1970 Jahre von zahlreichen Observatorien gepflegt wurde.
Sollen diese Messreihen mit modernen digitalen Mitteln fortgesetzt werden, so müssen hierzu täglich mosaikfreie, kalibrierte und orientierte Heliogramme mit einem Sonnendurchmesser von mindestens 2500 Pixeln aufgenommen werden. Zwecks Einfrieren der Luftunruhe darf die Belichtungszeit maximal

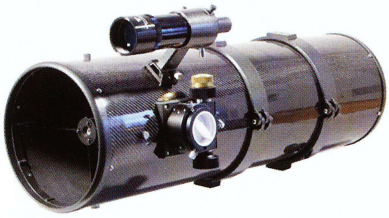
Der große Onlineshop für **Astronomie, Fotografie** und **Naturbeobachtung**
mit über **4000 Angeboten!**

www.teleskop-express.de
Teleskop-Service – Kompetenz & TOP Preise

Individuell optimierte Newtons - Maßanfertigungen passen am besten!

Von Teleskop-Service:

Universelle **N**ewtons mit **C**arbon-Tubus und 2" Baader Steeltrack Fokussierer - die neue **UNC** Baureihe!



Was ist anders?
→Hochwertiger in Deutschland gefertigter Carbon-Tubus mit höchster Stabilität
→Optimierte Fokuslage *nach Wunsch* und damit auch bestmögliche Ausleuchtung
→Von Teleskop-Service verbesserte Hauptspiegelfassung
→Baader Steeltrack 2" Crayford Auszug mit Untersetzung - einer der besten Crayford Auszüge in seiner Klasse
→Der Fangspiegel *in Ihrer Wunschgröße* wird mit korrektem Offset von uns individuell auf die Fangspiegelfassung (Metall) geklebt

Die UNC Newton Serie von Teleskop-Service bietet eine Alternative zu den Fernost Newtons und den sehr teuren High End Teleskopen. Dabei brauchen Sie bei diesen Teleskopen keine Kompromisse einzugehen.

Verfügbare Grundmodelle:
UNC2008 (8" f/4): 965,55 €
UNC20010 (8" f/5): 839,50 €
UNC25410 (10" f/4): 1.174,79 €
UNC25412 (10" f/5): 1.090,76 €
(12" Modelle in Vorbereitung)

Lieferumfang:
- TS UNC Carbon Newton Teleskop mit 2" Baader Steeltrack
- Alu Rohrschellen mit je zwei ebenen Auflageflächen
- 8x50 Sucher mit Sucherhalter
- Reduzierung von 2" auf 1,25" mit 2" Filtergewinde

Hinweis: Alle Preise in dieser Anzeige sind Netto-Export Preise ohne MwSt!

Neu: TS Expanse Okulare
... 3,5 bis 22 mm Brennweite
... Eigengesichtsfeld: 70°
... 2" und 1,25" Anschluß integriert (22 mm nur 2")

... bequemer Augenabstand: 20 mm!
... optional: Schraub-Adapter auf T2!
83,95 €
(für alle Brennweiten)

Neu: TS NED Okulare
... 5 bis 25 mm Brennweite
... Eigengesichtsfeld: 60°
... Ebenes Bildfeld für hohe Randschärfe

... hohe Farbreinheit durch ED-Element
62,18 €
(für alle Brennweiten)

Interessante neue Apochromaten für die Fotografie!

TS APO 65 Q
4elementiger APO mit FPL53 Element und integrierter Bildfeldebnung
65/420 mm (f/6,5) - kompakt & hochwertig
477,31 €

TSED102 f/7
Doublet-ED 102/714 mm (f/7) mit 3" Okularauszug, Ausleuchtung bis Vollformat
738,65 €

Telefon: +49 (0)89-1892870 • Fax: +49 (0)89-18928710 • info@teleskop-service.de
Teleskop-Service, Keferloher Marktstr. 19C, D-85640 Putzbrunn/Solalinden

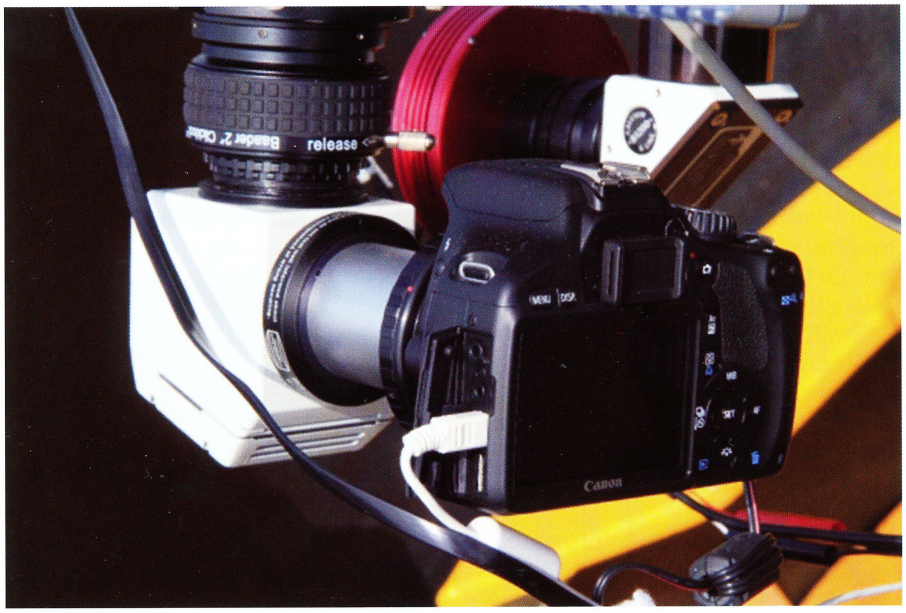


Abbildung 3: Canon EOS 550D DSLR-Kamera mit aufgesetzter Sucherabdeckung, weissem USB 2.0 Datenübertragungs- und Steuerungskabel sowie ACK-E8-Stromversorgungskit am umgebauten Baader Cool-Ceramic Safety Herschelprisma des TeleVue NP-101is-Refraktors. Im Hintergrund das Ca II K Diagonal von Lunt mit der Atik 320e CCD-Kamera.

$\frac{1}{1000}$ s betragen. Darüberhinaus sollte das Digitalbild in möglichst roher Form ausgelesen, mit einer Digitalisierungstiefe von 12 - 16 Bit abgespeichert und in das FITS Format konvertiert werden können.

Kamerawahl

Allein von Canon stehen zahlreiche DSLR-Kameras zur Auswahl, welche diese Anforderungen erfüllen. Wir empfehlen, für die tägliche Dokumentation der Sonnenphotosphäre ein einfaches Consumer Modell mit einem Bildsensor im APS-C Format zu wählen.
Sollen alle in einem Bild enthaltenen Details mittels einer Digitalkamera abgebildet werden, müssen die Pixel eine kritische Grösse von

$$d_{pix}\,[\mu m] = 0.51 \cdot \lambda \cdot F/A$$

aufweisen, worin λ die Wellenlänge des Lichtes in µm, F die Brennweite des Teleskops in mm und A die Öffnung des Teleskops in mm bedeuten. Sind die Kamerapixel grösser als d_{pix}, wird Instrumentenleistung verschenkt, sind die Kamerapixel kleiner als d_{pix}, wird Kameraleistung verschenkt.
Der mittlere Durchmesser der Sonnenscheibe in mm beträgt

$$D\,[mm] = 0.009304 \cdot F$$

Soll daher auf dem Kamerachip die ganze Sonnenscheibe auf einmal abgebildet werden, so darf für eine APS-C-Kamera die Brennweite des Teleskops höchstens 1500 mm betragen. Für einen 4 Zoll Refraktor ist d_{pix} bei λ = 540 nm somit 4.1 µm. Dazu passen momentan die 550D und 600D-Kameras von Canon. Für einen 3.5 Zöller ist d_{pix} = 4.6 µm. Hierzu passt die 500D. Für einen 3 Zöller ist d_{pix} = 5.4 µm passen die 450D und 1100D. Allerdings weist deren LiveView eine deutlich geringere Auflösung auf, als dasjenige der 550D oder 600D, was die visuelle Fokussierung des Sonnenbildes erschwert. Gegenwärtig scheint uns daher ein 4" Refraktor mit einer Brennweite von maximal 1500 mm in Kombination mit einer Canon 550D oder 600D die beste Wahl zu sein.

Stationärer Betrieb

Seit Herbst 2010 führen wir unser fotografisches Beobachtungsprogramm zur Dokumentation der Photosphäre im weissen Licht am fernsteuerbaren Instrumentarium des Sonnenturms Uecht in Niedermuhlern durch. Der 12.5 m hohe Turm trägt an seiner Spitze eine 2.1 m Clamshell Kuppel von Astro Haven welche eine GM2000-Montierung von 10micron beherbergt. Auf der Instrumentenplattform sind gegenwärtig 5 Refraktoren montiert, wovon drei der routinemässigen Sonnenfotografie gewidmet sind (Abbildung 2). Die Photosphäre wird mit einem TeleVue NP-101is Flatfield-Refraktor überwacht, welcher eine freie Öffnung von 101 mm und eine Brennweite von 540 mm besitzt. Mit Hilfe einer 2" Barlowlinse von Astro-Physics wird die Brennweite des Refraktors auf 1430 mm verlängert. Als lichtdämpfendes Helioskop wird ein 2" Cool-Ceramic

Safety-Herschelprisma von Baader eingesetzt. Dieses ist mit einem Baader ND1.8 und einem Baader ND0.6-Graufilter sowie dem Baader 2" Solar Continuum Filter ausgerüstet. Über diverse Verlängerungshülsen und Adapter ist eine Canon EOS 550D DSLR-Kamera montiert. Die Kamera wird mit Hilfe eines Canon ACK-E8 Kits mit Strom versorgt und ist über ein USB 2.0 Kabel mit dem Kontrollrechner im Beobachtungsraum verbunden. Die Steuerung der Kamera sowie die Bildakquisition erfolgt über MaxIm DL. Hierzu muss an der Kamera vorgängig einmal das Moduswahlrad auf „M" gestellt, die automatische Kameraausschaltung bei Inaktivität deaktiviert, ein Betrieb ohne eingesetzte Speicherkarte erlaubt sowie Datum, Uhrzeit und Besitzerinformationen eingegeben werden. Die übrigen Einstellungen, insbesondere der Weissabgleich und der Farbraum können auf den Vorgabewerten belassen werden. Für die ferngesteuerte Fokussierung wurde der originale Okularauszug mit einem Fokussierungsmotor von JMI nachgerüstet, welcher in MaxIm DL bedient werden kann. Damit kein Fremdlicht in die Kamera gelangen kann, muss der Sucher mit der mitgelieferten Gummikappe abgedeckt werden. Die eigentliche Fokussierung erfolgt momentan noch «von Hand» indem in MaxIm DL direkt die vergrösserte Liveansicht des Sonnenbildes betrachtet und der Fokusmotor bedient wird. Eine automatische Fokussierung wie sie für punktförmige Lichtquellen schon länger existiert, soll in naher Zukunft durch die Praxisgruppe der Rudolf Wolf Gesellschaft entwickelt werden.

Spezielle Kameraeinstellungen

Sämtliche Bilder müssen im sensornahen Raw Format aufgenommen und verlustfrei im FITS Format abgespeichert werden. Ansonsten können die Sonnenaufnahmen später nicht mehr kalibriert und in der vollen Digitalisierungstiefe ausgewertet werden!
Die Sensorempfindlichkeit muss dauerhaft auf ISO 100 gesetzt werden. Höhere Einstellungen verstärken lediglich das Hintergrundrauschen in den Sonnen- und Kalibrierbildern. Während dieses in den Kalibrierbildern theoretisch ausgemittelt werden könnte, bleibt bei der von uns gegenwärtig empfohlenen Einzelbildstrategie in den Sonnenaufnahmen ein störendes Bildrauschen erhalten. Sollte das Sonnensignal zu schwach sein, so darf weder die Belichtungszeit über 1/1000 s verlängert, noch die ISO Einstellung erhöht werden. Die einzige Anpassungsmöglichkeit liegt in der Stärke der Lichtdämpfung des Sonnenfilters: diese muss mittels passenden Neutralfiltern so eingestellt werden, dass im Sommer bei hochstehender Sonne die Belichtungszeit rund 1/2000 s beträgt. Dann kann im Winter länger und im Sommer bei zusätzlichem Streulicht noch etwas kürzer belichtet werden. Wir empfehlen daher, für die Lichtdämpfung ein Helioskop und kein Objektivsonnenfilter zu verwenden, da diese – abgesehen von ihren optischen Schwächen – auch in den sog. Photoversionen für die kleinpixeligen Digitalkameras zu dunkel sind. Allerdings ist darauf zu achten, dass die in die Helioskope eingebrachten Neutralfilter ihrerseits von hoher optischer Qualität sind und keine merkbaren zusätzlichen Bildunschärfen verursachen!
Der letzte Geheimtipp schliesslich, liegt in der permanenten Einschaltung der kamerainternen Rauschunterdrückung. Diese scheint zwar für die kurzbelichteten Sonnenaufnahmen belanglos zu sein, tatsächlich jedoch ermöglicht sie eine effiziente Bildkalibrierung.

Kalibrierung

Auf den ersten Blick können DSLR-Bilder nach denselben Protokollen kalibriert werden, wie herkömmliche CCD-Bilder, solange man die Kalibrierung mit den unverarbeiteten farbcodierten Rohbildern durchführt (Berry und Burnell, 2005). Auf den zweiten Blick ist jedoch zu fragen, welche Kalibrierbilder denn für die Sonnenfotografie überhaupt benötigt werden und wie sie akquiriert werden können? Sicher ist, dass Flatfieldbilder unverzichtbar sind. Sie korrigieren die meistens vorhandene (im Allgemeinen chromatische!) Bildvignettierung sowie die früher oder später unvermeidbaren Staubflecken. Wir nehmen nach jeder Aufnahmesequenz sog. Skyflats auf, d.h. wir bewegen das parallaktisch aufgestellte Instrument nach Aufnahme der Sonnenbilder um 1 Stunde in Richtung Meridian und belichten dort für 30 Sekunden den freien Tageshimmel. Zwar besitzt dieser nicht die gleiche Farbe wie die Sonne, doch gelangen wir so in ein Himmelsareal, das relativ gleichmässig beleuchtet und frei von Haloerscheinungen ist (Abbildung 4).
Was die Bias- und Darkbilder be-

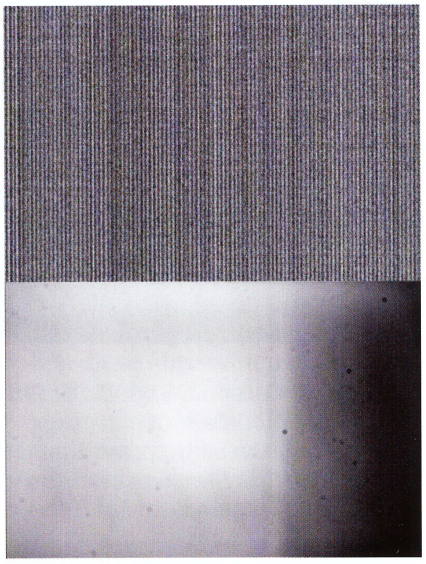


Abbildung 4: Lightdarkbild (1/2000 sec) und Flatfieldbild (30 sec) aufgenommen mit der Canon EOS 550D DSLR-Kamera.

trifft, so ist anzumerken, dass mit DSLR-Kameras keine echten Biasbilder geschossen werden können. Man deklariert vielmehr die mit der kürzest möglichen Belichtungszeit aufgenommenen Darkbilder zu solchen. Auch Darkbilder lassen sich nur aufnehmen, wenn das Instrument abgedunkelt wird, da der Kameraverschluss in jedem Fall ausgelöst wird. Biasbilder werden nur dann benötigt, wenn ein hochgenaues Thermalbild konstruiert werden soll, welches auf die Belichtungszeit der Scienceframes gematched werden kann. Da DSLR-Sensoren nicht gekühlt sind werden in der Regel nur Darkbilder mit derselben Belichtungszeit wie das Scienceframe aufgenommen. Auf die Akquisition von Biasbildern wird verzichtet. Ausgedehnte Experimente, welche wir mit allen neueren Consumer-Kameras von Canon (450D, 500D, 550D) durchgeführt haben, zeigten jedoch, dass die interne Rauschunterdrückung das thermische Rauschen unabhängig von der Belichtungszeit auf das Biasniveau reduziert! Flatdarks mit derselben Belichtungszeit wie die Flatfieldbilder können also durch Kurzbelichtete ersetzt werden. Der Einfachheit hal-

ber nehmen wir daher pro Aufnahmesequenz nur einen Satz Darkframes auf, welchen wir ebenso lange wie die Sonnenbilder belichten. Zusätzliche Experimente haben ergeben, dass auf eine Abdeckung des Instruments verzichtet werden kann, wenn die Darkframes an derselben Position wie die Flatfieldbilder fernab der Sonne akquiriert werden, weshalb wir diese Darkframes auch Lightdarks nennen. Somit kann auch im stationären Betrieb auf ein Filterrad verzichtet werden.

Solar Continuum Filter

Der Baader Solar Continuum Filter schneidet im grünen Bereich bei 540 nm Wellenlänge einen rund 10 nm breiten Spektralbereich aus. Da dort die Strukturen der Sonnenflecken und der Granulation anerkanntermassen ihren grössten Kontrast haben und Refraktoren dort auch am schärfsten und kontrastreichsten zeichnen, erhofft man sich durch Anwendung dieses Filters eine merkliche Steigerung der Bildqualität. Auch ist die Luftunruhe bei kurzen, blauen Wellenlängen merklich grösser, so dass mit dem grünen Solar Continuum Filter eine weitere Steigerung der Bildqualität erwartet werden darf.

Bei der visuellen Anwendung sind die Meinungen über die Wirksamkeit des Filters allerdings geteilt. Parallelbeobachtungen unter den Mitgliedern der Praxisgruppe der Rudolf Wolf Gesellschaft ergaben jedenfalls für hochwertige 3" - 4" APO-Refraktoren keine erkennbaren Qualitätsverbesserungen, allenfalls einen auf die ungewöhnliche Farbe und der dadurch bewirkten erhöhten Aufmerksamkeit zurückzuführenden psychologischen Effekt. Fotografisch sieht die Sache allerdings anders aus: zahlreiche Besitzer von monochromen CCD-Kameras und Videomodulen vermelden beeindruckende Kontrast- und Schärfeverbesserungen. Mit den farbcodierten DSLR-Kameras sollte dies allerdings nicht funktionieren, da theoretisch nur die grünen Pixel Licht erhalten und das resultierende Farbbild somit stark verrauscht sein sollte. In praxi überlappen sich jedoch die Spektralbereiche der roten und der blauen Pixelfilter mit demjenigen der grünen Pixelfilter, so dass realiter alle Pixel Licht erhalten. Zwar ist das resultierende Farbbild tatsächlich leicht verrauscht, doch wenn man nach der Farbinterpolation die drei Grundfarben wieder voneinander trennt, so erweist sich der Grünkanal als qualitativ hervorragend (Abbildung 5)!

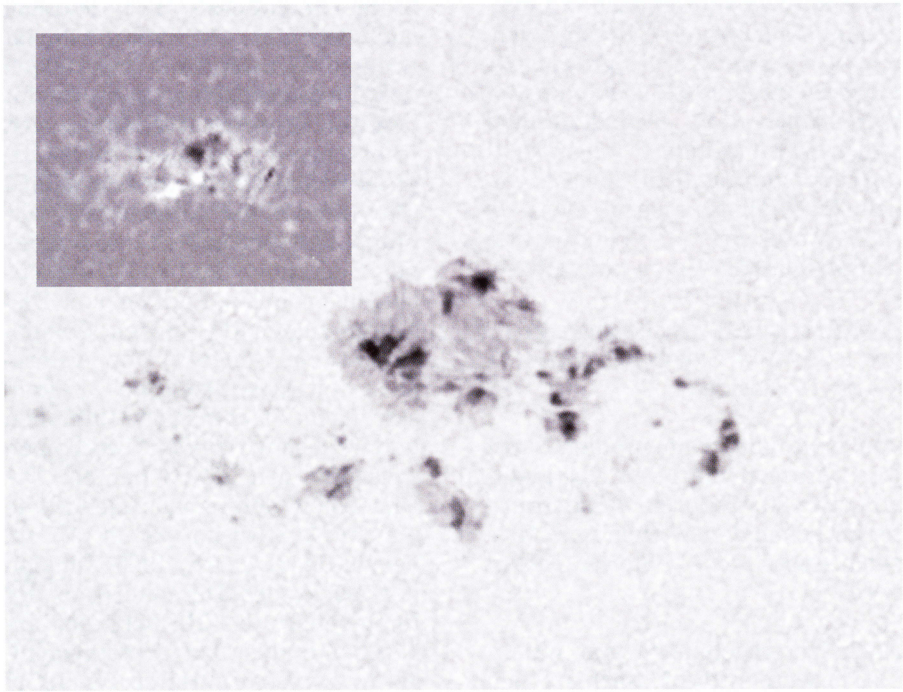


Abbildung 5: Hochauflösende Ausschnittsvergrösserung aus Abbildung 1, allerdings nur Grünkanal. Deutlich erkennbare Feinstrukturen in den Penumbrae. Die Granulation ist stellenweise sichtbar wird jedoch durch grossräumige Unschärfezonen überdeckt, was für kurzbelichtete Einzelaufnahmen (leider) typisch ist. Zufälligerweise ereignete sich während der Routinebeobachtung in derselben Gruppe eine kleine Eruption, welche im Kalziumlicht bei 393.4 nm Wellenlänge dokumentiert werden konnte. Aufnahme mit der Atik 320e CCD-Kamera am TeleVue NP-101 Refraktor und dem Ca II K Filter von Lunt.

Ausblick

Durch sorgfältiges, gegenseitiges Abstimmen von Instrument, Kamera und Bildakquisition ist es uns gelungen, mit relativ einfachen Mitteln qualitativ hochwertige und den Anforderungen genügende mosaikfreie, kalibrierte und orientierte Heliogramme vorzulegen, welche nun als Messplattformen für die routinemässige Bestimmung heliografischer Positionen und Flächen von Sonnenfleckengruppen dienen können. Mit dem 1. Januar 2011 starteten wir am Weisslichtinstrument des Sonnenturms Uecht den täglichen Routinebetrieb. Dieser ist zwar erfolgreich angelaufen, doch muss er noch weiter verbessert und stärker automatisiert werden. Dies umfasst das Zentrieren des Sonnenbildes auf dem Chip, das Fokussieren, das Flatfielding sowie die Qualitätsbestimmung und sequentielle Bildoptimierung. Erst dann können die gewonnenen Heliogramme ausgewertet werden.

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

Patrick Enderli
Dorf 3
CH-3087 Niedermuhlern

Literatur

- Berry, R. und Burnell, J. (2005): *The Handbook of Astronomical Image Processing.* Willmann-Bell. 2005.
- Martin, A. und Koch, B. (2009): *Digitale Astrofotografie.* Oculum. 2009.
- Reeves, R. (2005): *Introduction to Digital Astrophotography.* Willmann-Bell. 2005.

- http://www.solarpatrol.ch
  http://www.rwg.ch
  http://www.canon.ch
  http://www.baader-planetarium.de
  http://www.cyanogen.com
  http://www.mlunsold.com