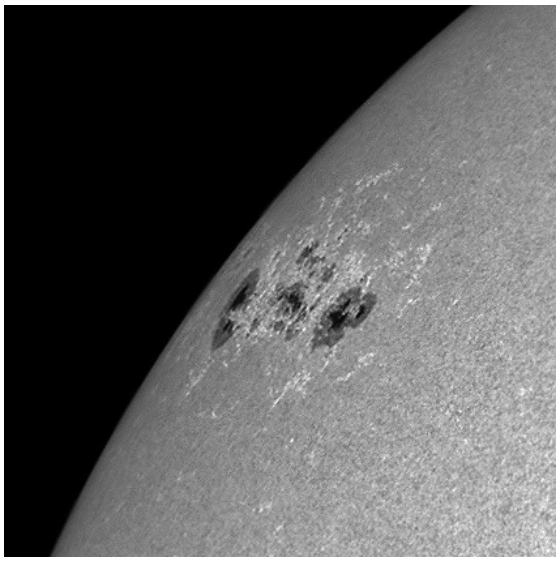
Die Sonne im violetten Kalziumlicht – Einleitung und Allgemeines

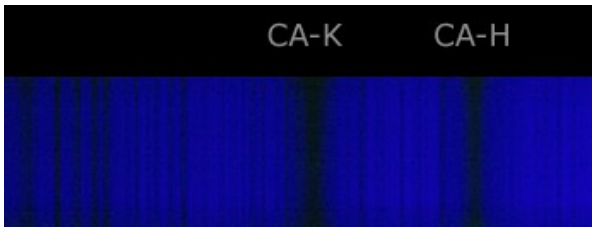
Joseph Fraunhofer hat 1814 erstmals die solaren Spektrallinien beobachtet und die auffälligsten mit Großbuchstaben durchnummeriert. Die Nummerierung beginnt im roten- endet im violetten Teil des Spektrums, und die Bezeichnungen sind teilweise heute noch geläufig.



Die Wellenlänge der Kalziumlinien

Der Spektralbereich besteht aus zwei Emissionslinien, die im violetten Bereich des Spektrums liegen, wobei die Intensität der Linien relativ hoch ist:

CA-K: 393,37 nm (3933,7 A) und
CA-H: 396,85 nm (3968,5 A)



Dieser engbandige Spektralbereich wird auch als CA-II bezeichnet. Die K-Linie ist sehr breit und wird deshalb zusätzlich in die Komponenten K1, K2 und K3 unterteilt.

Beobachtet wird in diesem Spektralbereich eine Höhenschicht der Sonne, die ca. 500km oberhalb der Photosphäre (Weißlicht = bei ca. 540nm) liegt. Im Prinzip also die Grenzschicht zwischen Photosphäre und der unteren Chromosphäre (sichtbar im H-alpha Licht bei 656,28nm). Die Chromosphäre ist die Übergangsschicht zu Sonnenkorona.

Wichtiger Hinweis:

Da das menschliche Auge im Spektralbereich unterhalb von 420nm so gut wie blind ist, ist eine visuelle Beobachtung NICHT SINVOLL.

Vom Versuch einer visuellen Beobachtung sei dringend abgeraten, denn für das menschliche Auge ist die Sonnenstrahlung in diesem Spektralbereich (UV-A 315 bis 400 Nanometer) extrem gefährlich. Deshalb ist das Baader K-Line Filter AUSSCHLIESSLICH für die fotografische Beobachtung gedacht.

Für die fotografische Beobachtung darf das Baader K-Line Filter NUR mit einer Filterung VOR der Lichteintrittsöffnung mit Baader Astro Solar Folie oder HINTER einem Baader Herschel Prisma eingesetzt werden:

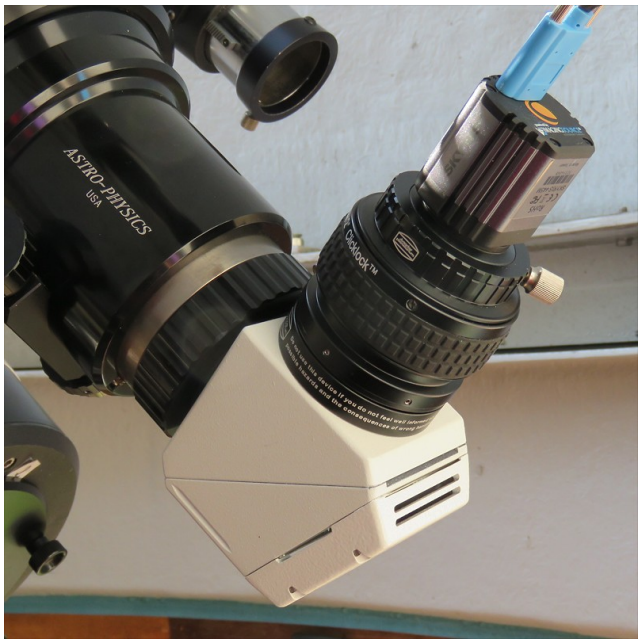
Die Firma Baader bietet zur Kalzium Sonnenbeobachtung zwei verschiedene Filter an.

Die preiswertere Variante ist das Baader K-Line Filter, welches mit einer Halbwertsbreite[1] (HWB) von ca. 8nm (80 Å) sehr breitbandig ist. Es überdeckt beide CA Linien (K und H). Das Filter wird in einer 1¼″ Filterfassung geliefert. Es darf **OHNE** Vorfilterung (Astro Solar Folie oder Herschel Prisma) **NICHT** eingesetzt werden.

[1] Stichwort Halbwertsbreite: Die Halbwertsbreite gibt die Breite des Wellenlängenbereiches an, bei der das Filter eine Transmission (Durchlass) von 50 Prozent hat. Halbwertbreiten solcher Schmalbandfilter werden normalerweise in Angstroem [Å] und nicht in Nanometer [nm] angegeben.

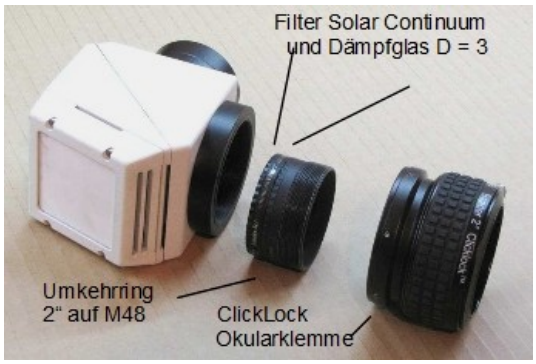
Die Abbildung links zeigt das Baader 1¼ Zoll K-Line Filter

Als Sensoren für die Bildaufnahme kommen bevorzugt Videomodule mit CCD- oder CMOS Chips in Frage.



Das Bild rechts zeigt eine Beobachtungskombination für die Kalziumfotografie. Es besteht aus der fotografischen Version des Baader Herschel Prismas. Das K-Line Filter ist direkt in die 1¼″ Steckhülse der Celestron SkyRis Kamera eingeschraubt

Da in der Foto Version des Herschel Prismas ein Schmalband SolarKontinuum Filter (540nm) im Prismengehäuse eingebaut ist, muss dieses natürlich für die Fotografie unterhalb 400 nm entfernt werden. Gehen Sie dazu wie folgt vor:



Schrauben Sie die 2 Zoll ClickLock Klemme vom Prismengehäuse ab. Schrauben Sie jetzt die fest eingebauten Filter aus, entfernen Sie das (grüne) SolarKontinuum Filter und schrauben Sie das Dichte 3 Filter mit dem Umkehrring wieder ins Gehäuse ein. Zum Schluss wird die ClickLock Klemme wieder mit dem Prismengehäuse verbunden.

Hinweis: Eine Beobachtung der Kalzium Sonne auf dem Laptop Monitor im Live View Modus einer Videokamera ist natürlich möglich und völlig ungefährlich.

Die zweite Variante sind Ca-K Filter der Firma SolarSpectrum, die mit Halbwertsbreiten unter 2 Å sehr schmalbandig und damit extrem teuer sind. Sie werden hier nur am Schluss erwähnt. Solche Filter werden auch als Bandpassfilter bezeichnet.

Das Bild links zeigt ein K-Line Bandpassfilter der Firma SolarSpectrum mit angesetzter TIS Videokamera DMK 31.

Was zeigt das Baader K-Line Filter auf der Sonne und wo genau wird beobachtet

Beobachtet wird eine Höhenschicht der Sonne, die ca. zwischen 500 bis 1.500 Kilometer (Hauptemission der Ca-K Linie, K1 + K2) oberhalb der Photosphäre (Weißlicht = 400 bis 700 nm) liegt. Im Prinzip also eine Übergangsschicht zwischen der oberen Photosphäre und der unteren Chromosphäre, die im H-alpha Licht bei 656,28nm beobachtet werden kann. Die obere Chromosphäre geht dann in die Korona der Sonne über. Das Zentrum der H-alpha Linie zeigt eine Höhenschicht ab ca. 1.500 Kilometer über der Photosphäre. Zur Schichtung dieser Gasschichten gilt prinzipiell:

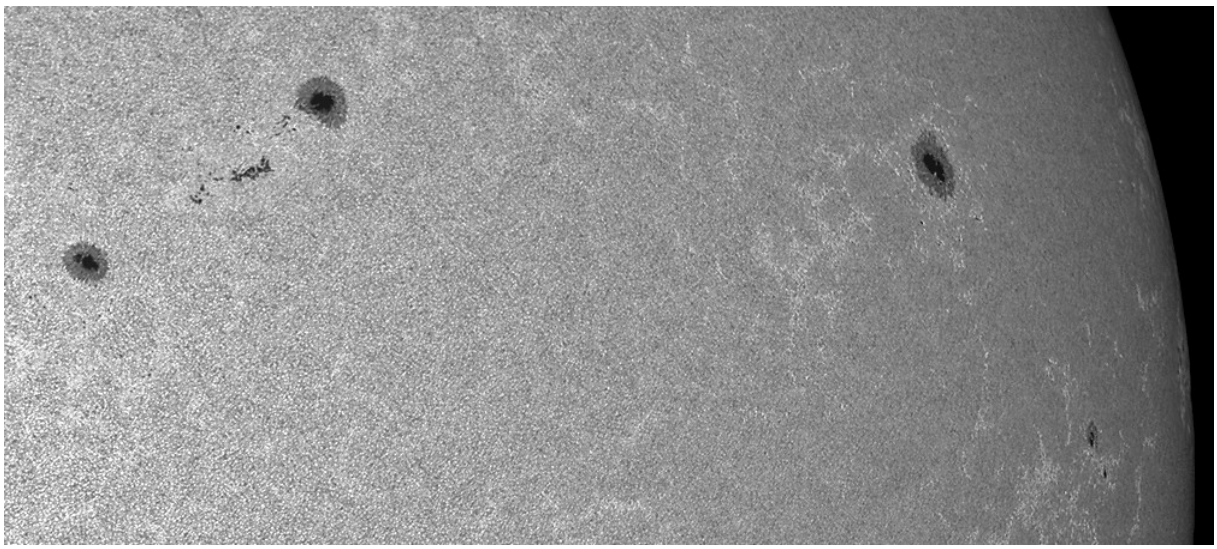
- Je enger die Halbwertsbreite und je steiler die Flanken des Filters sind, desto genauer definiert ist die Höhenschicht in der beobachtet wird. Sind die Filterflanken nicht steil genug oder die HWB zu breit, „streuen“ andere Wellenlängen und damit andere Höhenschichten in das beobachtete Bild.

- Auch wenn die Filter steile Flanken haben und schmalbandig genug sind, können sich durch physikalische Gegebenheiten, wie zum Beispiel Gasdruck und wechselnde Magnetfeldstärken, die Temperaturschichtungen durchmischen.

Solare Strukturen, beobachtbar mit dem Baader K-Line Filter bei einer Wellenlänge zwischen 394 bis 396 Nanometer

- Sonnenflecken
- Chromosphärisches Fackeln (Plages)
- Supergranulationszellen (Chromospheric network structure)
- Äußerer heller Ring (Bright ring) und Helle Punkte (K-grains)
- Ellerman Bombs
- Flares, Protuberanzen und Filamente

Sonnenflecken und das chromosphärische Fackelnetzwerk

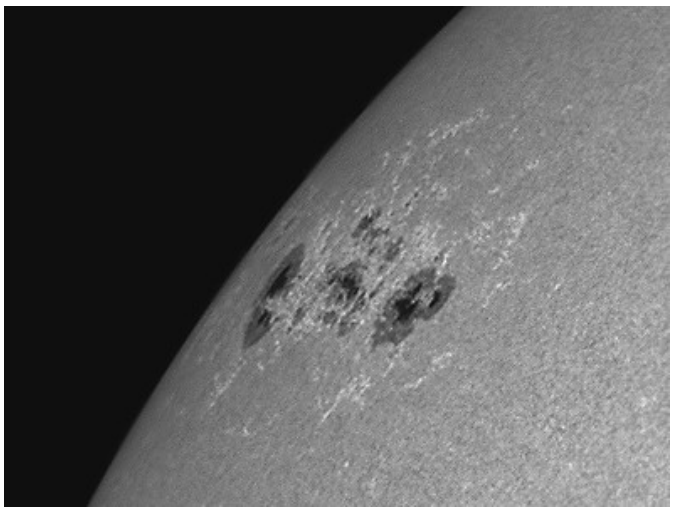


Das Bild oben zeigt die Sonne 24. April 2015, aufgenommen mit dem Baader K-Line Filter und einem 4 Zoll Refraktor. Vorfilterung mit Baader Astro Solar Folie der optischen Dichte 3.8.

Auf den ersten Blick unterscheidet sich die die Sonne im Kontinuum und im Kalzium Licht wenig. So sind Sonnenflecken und helle Fackelgebiete sichtbar. Auf den zweiten Blick fällt auf, dass der Effekt der Randverdunklung auffälliger ist, dass die Fackelgebiete am Rand deutlich strukturierter und nicht nur am Sonnenrand sichtbar sind und dass der Kontrast zwischen Umbra und Penumbra in Sonnenflecken deutlich größer ist.

Das Baader K-Line Filter ist nicht schmalbandig genug, um die Chromosphärischen Fackelgebiete bis in die Sonnenmitte zu zeigen. Hierzu sind teure Filter mit Halbwertsbreiten von 2 bis 3 Å erforderlich.

Der Kontrast der Fackelgebiete am Sonnenrand ist jedoch deutlich höher bei Beobachtungen im Kontinuum (Weißlicht).



Das chromosphärische Fackelnetzwerk ist im Kalziumlicht weitgehend identisch mit dem, welches im Kontinuum beobachtet wird. Dazu finden Sie auf der begleitenden Webseite einige Bildanimationen.

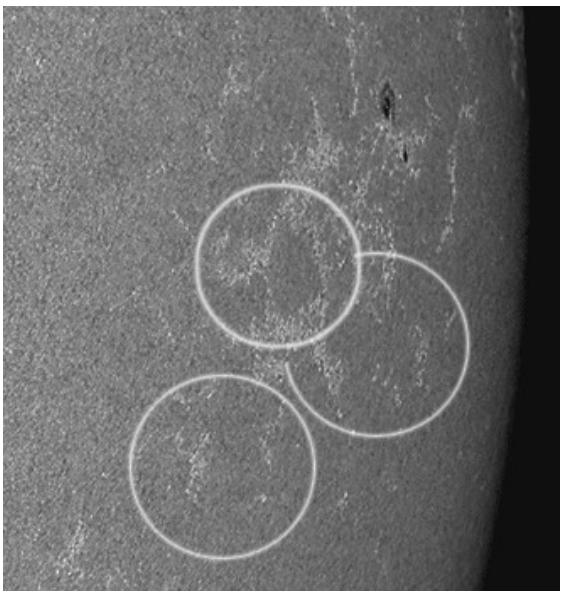
Das Bild links zeigt die Fackelgebiete um die Fleckengruppe AR 2361 am 6. Mai 2015. Aufnahmeteleskop: 6″ Refraktor, Baader K-Line Filter, Vorfilterung: Baader Herschel Prisma.

In der englischsprachigen Sonnenliteratur werden die Fackelgebiete als Plages bezeichnet. Sie liegen in der Grenzschicht obere Photosphäre zur Kalziumschicht. Darunter liegen starke Magnetfelder, die Temperatur ist einige 100 Grad Celsius höher als die umgebene ungestörte Gasschicht, deshalb erscheinen sie auch heller. Die chromosphärischen Fackelgebiete sind Indikatoren für die Bildung von Sonnenflecken und Sonnenfleckengruppen, die durchschnittliche Lebensdauer beträgt ca. 90 Tage. Die einzelnen Segmente dieser Fackelgebiete werden auch als „Mottles“ bezeichnet und können Längen von bis zu 50.000 Kilometer erreichen.

Supergranulationszellen

Dem chromosphärischen Fackelnetzwerk übergeordnet ist die so genannte Supergranulation. Es sind runde, aber auch irregulär geformte, meist geschlossene Strukturen von ca. 30.000 – 35.000 Kilometer im Durchmesser, und die äußere Begrenzung wird durch helle Fackelpunkte markiert. Die Magnetfelder dort sind deutlich schwächer als die Magnetfelder von Fackelgebieten im Kontinuum (Weißlicht).

In ihnen fließt die Materie auf Grund von Konvektion horizontal von Innen nach außen.



Supergranulationszellen im Kalzium Licht. Aufnahme Equipment wie oben

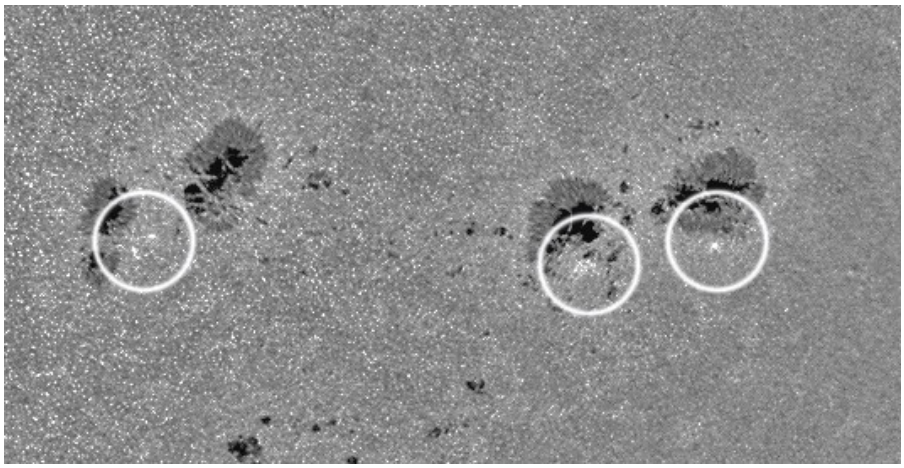
Die Lebensdauer beträgt im Mittel rund 20 Stunden. Es sind horizontale Konvektiongebiete in denen Gas von innen nach außen fließt.

Einzelne dieser Supergranulationszellen sind am Sonnenrand oft gut beobachtbar. Um das komplette Netzwerk sichtbar zu machen ist das Baader K–Line Filter zu breitbandig. Im Kontinuum sind diese Supergranulationszellen nicht sichtbar.

Ellerman Bombs

Solare Erscheinung in der oberen Photospäre der Sonne, benannt nach Ferdinand Ellerman (1869-1940), einem Mitarbeiter von George Ellery Hale, der diese Erscheinung in den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts erstmalig beschrieb. Ellerman selbst nannte diese Struktur „Hydrogen boms“. In der englischsprachigen Fachliteratur werden Sie auch „moustaches“ genannt.

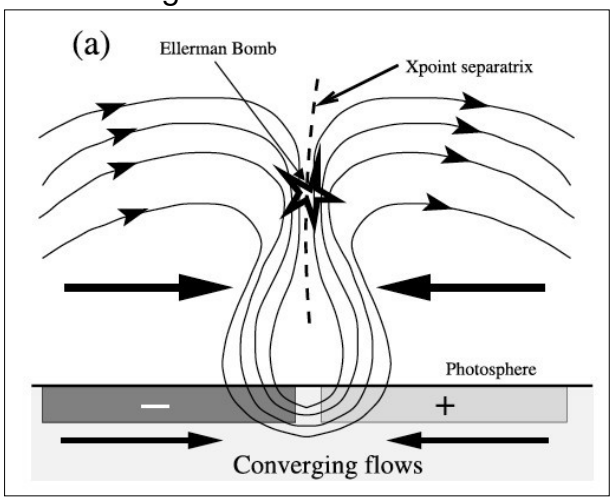
Das Bild links zeigt Ellerman bombs in den Sonnenfleckengruppen AR 2339 und AR 2345 am 15. Mai 2015.



6″ Refraktor mit Baader K-Line Filter und AstroSolar Foto Folie OD 3.8 zur Vorfilterung

Ellerman bombs sind sehr helle, fast Flarehelligkeit erreichende, kleine punktförmige Strukturen – sie werden auch „Microflares“ genannt. Ihre Größe liegt zwischen einigen hundert bis einigen tausend Kilometern, ihre Lebensdauer beträgt meist nur wenige Minuten. Sie erscheinen fast ausschließlich in bipolaren Sonnenfleckengruppen, liegen oft am Außenrand der Penumbren von Sonnenflecken in so genannten „emerging flux regions“ (siehe dazu auch den H-alpha Teil).

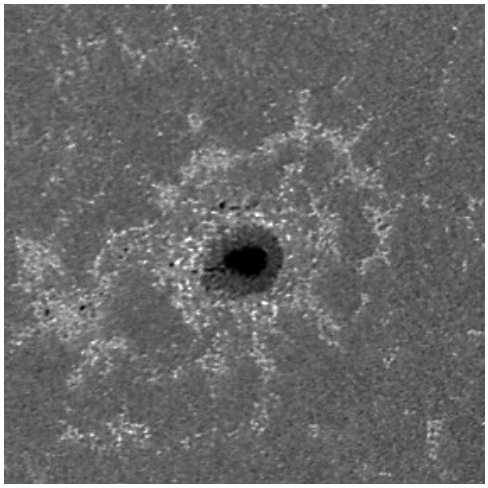
Das Bild rechts zeigt eine schematische Darstellung zur Entstehung und Lage von Ellerman bombs.



Grafik: Ellermann Bombs

Eine hohe räumliche Auflösung zeigt, dass Ellerman bombs länglich geformt sind, und moderne Untersuchungen zeigen, dass die Ausrichtung immer zum Sonnenrand liegt. Sie entstehen in einer Höhe zwischen 600 bis zu 1.100 Kilometer über der Photosphäre.

Häufig und ausgeprägt kann man Ellerman Bombs im blauen Flügel der H-alpha Linie beobachten. Sind sie enegiereich genug, lassen sie sich aber auch im Kalziumlicht beobachten.

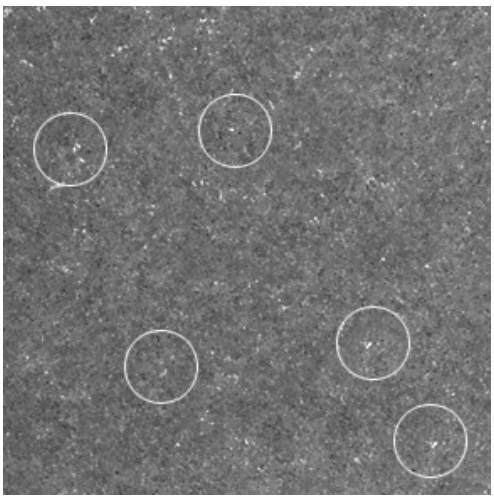


Äußerer helle Ringe (Bright rings) und **helle Punkte** (K-grains)

Der Effekt der äußeren hellen Ringe kann auch in der Photosphäre häufig beobachtet werden, ist jedoch im Kalziumlicht auffälliger.

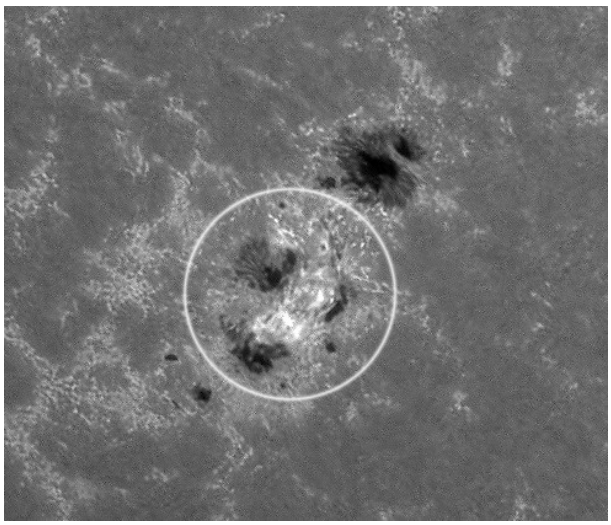
Helle Ringe sind in tieferen Schichten überhitzt und deshalb wird angenommen, dass Energie, die den Fleck von unten kommend nicht passieren kann, in den äußeren Bereich abgelenkt wird.

K – Grains



K-Grains sind helle Punkte und Strukturen der ruhigen Sonne, liegen also außerhalb der aktiven Sonnenfleckenregionen. Ihre Lebensdauer beträgt oft weniger als 1 Minute, aber sie erscheinen dann in Intervallen von 2 bis 4 Minuten immer wieder an der gleichen Position.

Es gibt Hinweise und Beobachtungen, dass sie mit den hellen Regionen in interganularen dunklen Rändern in der Photosphäre korrespondieren.



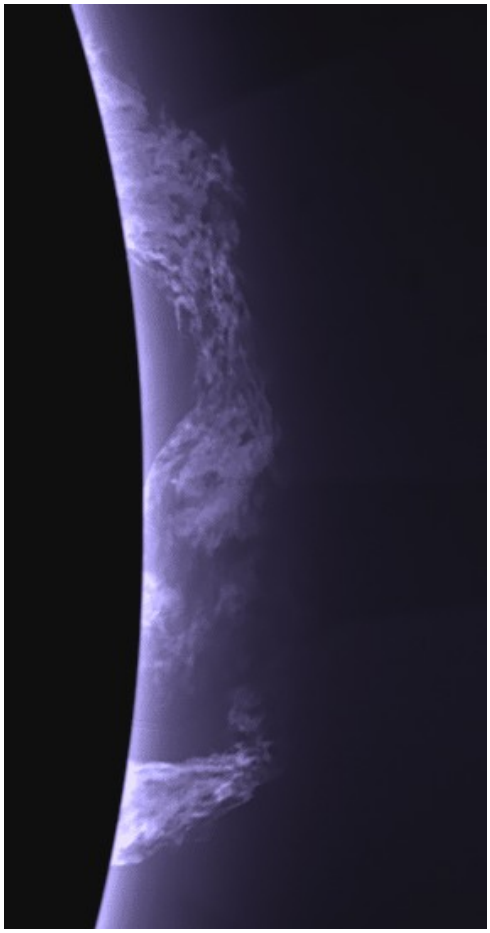
Flares, Filamente und Protuberanzen

Diese drei solaren Strukturen sind eigentlich Erscheinungen der oberen Chromosphäre, deren Beobachtungen üblicherweise im H-alpha Licht durchgeführt werden.

Flares sind reine Strahlungsausbrüche. Sehr energiereiche Ereignisse lassen sich aber auch im Kalzium Licht beobachten, wie das Beispiel links zeigt. Mehr zu Flares finden Sie im H-alpha Teil dieser Publikation.

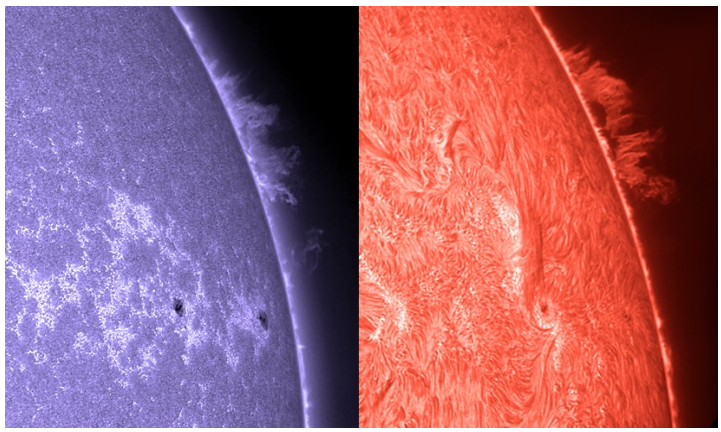
Protuberanzen und Filamente: Zwei Begriffe für die gleiche solare Struktur; Wasserstoffgas strukturiert in Magnetfeldern. Protuberanzen werden sie genannt, beobachtet man sie am Sonnenrand gegen den dunklen Himmelshintergrund. Filamente werden sie genannt, beobachtet man sie in der Aufsicht über der Sonnenoberfläche.

Für die Beobachtung von Protuberanzen ist das Baader K-Line Filter viel zu breitbandig. Um sie sichtbar zu machen, muss die Halbwertsbreite eines Filters deutlich schmaler als 3 Angstroem sein. Filamente auf der Sonnenoberfläche erfordern noch schmalere Filter mit Halbwertsbreiten kleiner 1 Angstroem. Beide Strukturen sind am besten in der K3 Linie sichtbar.



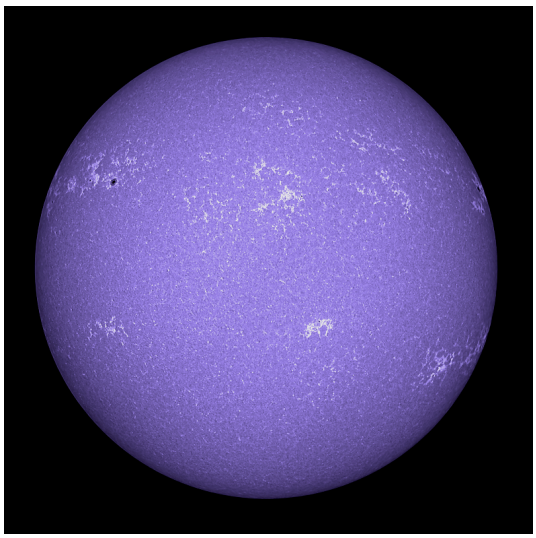
Um sie zu beobachten muss man auf die Anfangs erwähnten Kalzium Filter der Firma SolarSpectrum zurückgreifen. Diese werden nur auf Bestellung mit gewünschter Halbwertsbreite hergestellt, und sind entsprechend teuer. Die Preise liegen bei einem guten gebrauchten PKW und kommen deshalb wohl für wenige Amateursonnenbeobachter in Frage. Ein Beispielbild wollen wir trotzdem zeigen.

Protuberanzen im Kalzium Licht (K3 Linie) erscheinen im Vergleich zur H-alpha Linie lange nicht so strukturiert, sondern deutlich strukturloser.



Die (eingefärbte) Aufnahme links wurde am 21. März 2011 mit einem auf 75mm abgeblendetem 6 Zoll Refraktor und einem mit dem SolarSpectrum baugleichen Filter einer anderen Firma aufgenommen. Die Halbwertsbreite des Filters lag bei 2 Angstroem. Die Sonnenoberfläche wurde später in der Bildverarbeitung abgedeckt.
Das Bild rechts oben zeigt einen direkten Vergleich einer Protuberanz im Kalzium- und im H-alpha Licht.

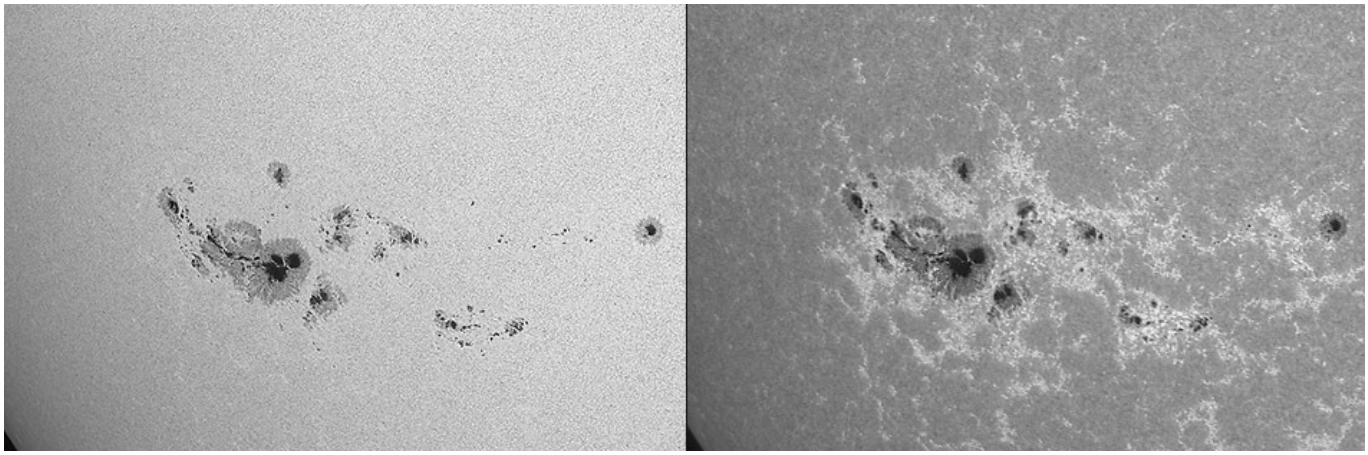
Sonnenfotografien im Kalzium Licht sind durch die fotografische Aufnahmetechnik zwangläufig monochrom, also nur schwarz-weiß. Im folgenden eine Kurzanleitung zur Einfärbung der Bilder mit Photoshop (CS2/CS5)



Unter dem Hauptmenü „Bild – Anpassen – Fotofilter“

1. Farbe auswählen und die RGB Werte 150:33:255 setzen, die Sättigung auf ca. 80% stellen (die Checkbox Luminanz erhalten MUSS aktiviert sein),
2. Kontrast um 10% absenken,
3. Farbsättigung um 10% erhöhen
4. Farbton nach Belieben (ca. -10) und
5. im Histogramm den Schwarzwert um 10 bis 15 hoch setzen.

Ähnliches gilt für die Einfärbung von Sonnenbildern, aufgenommen im H-alpha Licht (Chromosphäre)



Hier noch ein direkter Vergleich zwischen Sonnenflecken, aufgenommen links im Kontinuum und rechts in der K-Linie. Aufnahmedaten: 6 Zoll Refraktor bei f = 1100 mm, links Baader Astro Solar Folie OD 3.8 und SolarKontinuum Filter. Rechts: Baader Herschel Prisma (fotografische Version) und Baader K-Line Filter. Aufnahmedatum: 09.07.2012, links 14:21 UT und rechts 14:24 UT.

Für den fotografischen Einsatz des Baader K-Line Filters zusammen mit dem Baader CCS-Herschel-Prisma haben wir einige Testbeobachtungen durchgeführt, um Ihnen einige Empfehlungen geben zu können. Die Tests wurden mit einem Astro Physics 155/1085mm EDF Refraktor zusammen mit einem Celestron SkyRis Videomodul 445M Mitte Mai 2020 bei höchstem Sonnenstand um die Mittagszeit durchgeführt.

Vorweg:

Das Sonnenlicht muss auf jedem Fall mit einem Neutraldichtefilter vorgefiltert, werden und das Solar Continuum Filter muss natürlich aus dem Strahlengang entfernt werden.

Mit dem Neutraldichtefilter OD 3.0 (T = 0,01%) ergeben sich bei einer mittleren, vertretbaren Verstärkung (Gain) der Kamera in Sonnenmitte bei f/D von 7 (155mm Öffnung und 1100mm Brennweite eine Belichtungszeit von etwa 1/50 Sekunde. Das ist für das "Lucky Imaging" von Sonnenbilder eindeutig zu lange. Das OD 3.0 Filter muss also gegen ein OD 1.8 (T = 1%) getauscht werden. Bei dieser Vorfilterung liegen die Belichtungszeiten bei f/D von 7 dann ungefähr bei 1/2500 Sekunde.

Die Belichtungszeiten sind dabei natürlich vom Öffnungsverhältnis der Teleskopöffnung abhängig. Im folgenden geben wir die ungefähren Belichtungszeiten bei abweichenden Öffnungsverhältnissen zusammen mit dem Neutraldichtefilter OD 1.8. Das Objektiv wurde dabei bei gegebener Brennweite von f = 1100mm abgeblendet auf

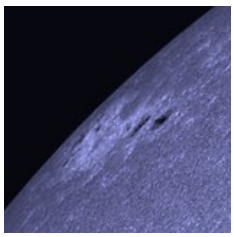
Teleskopöffnung 130mm, entspricht f/D = 8, ergibt 1/1500 Sekunde
Teleskopöffnung 120mm, entspricht f/D = 9, ergibt 1/1350 Sekunde
Teleskopöffnung 100mm, entspricht f/D = 11, ergibt 1/1000 Sekunde und
Teleskopöffnung 80mm, entspricht f/D = 13,5, ergibt 1/500 Sekunde

Bei f/D von 13,5 wird die Belichtungszeit mit 1/500 Sekunde schon ziemlich lang. Man kann natürlich die elektronische Verstärkung der Kamera erhöhen, wir empfehlen jedoch den Einsatz eines Neutraldichtefilters mit OD 0.9 (T = 12,5%).

Zum Abschluss noch einmal der Hinweis, dass das Baader K-Line Filter ausschließlich für fotografische Beobachtungen eingesetzt werden darf.

Weiterführende Links:

Bilder dieser Publikation und viele weitere Beispiele und Animationen voller Auflösung finden Sie auch in der begleitenden Website.



Eine gute Einführung und Beschreibung beobachtbarer Strukturen (pdf-file in englisch) von Alexandra, Cheshire, UK

http://www.baader-planetarium.de/solare-strukturen/download/observations-in-ca2.pdf

Testbericht zum Baader K-Line Filter
von Andreas Murner

SuW Bericht zur Sonnenbeobachtung im Kalziumlicht
von Bernd Weisheit, Sterne und Weltraum 01/2006

Dieses Dokument sowie die Text selbst unterliegen unserem Copyright. Kein Teil dieses Angebotes und/oder seiner Formulierungen dürfen für Zwecke Dritter übernommen werden. Jegliche Vervielfältigung oder Kopie dieses Dokumentes oder Teilen davon und jegliche Veröffentlichung in Printmedien oder in elektronischer Form – auch die Veröffentlichung dieses Dokuments im Internet zur Information Dritter – ist untersagt. Eine Zuwiderhandlung wird strafrechtlich verfolgt.

© 2016 by Dipl-Ing. Wolfgang Paech + Baader Planetarium GmbH, Mammendorf

BAADER PLANETARIUM GMBH
Zur Sternwarte • D-82291 Mammendorf • Tel. +49 (0) 8145 / 8089-0 • Fax +49 (0) 8145 / 8089-105
Baader-Planetarium.com • kontakt@baader-planetarium.de • Celestron-Deutschland.de