Die Sonne als Beobachtungsobjekt für den Amateurastronomen

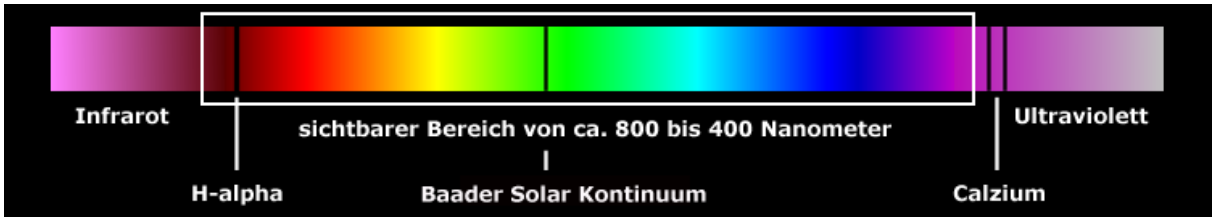
oder

Welche H-alpha Strukturen lassen sich mit Baader Zubehör beobachten

Die Beobachtung der Sonne im roten H-alpha Licht ist mit Abstand der interessanteste und spannendste Bereich der Sonnenbeobachtung, denn in diesem Spektralbereich lassen sich Veränderungen von solaren Strukturen fast im Minutentakt verfolgen.

Leider ist es auch die teuerste Variante der Sonnenbeobachtung für den Amateurastronomen. Dies liegt darin begründet, dass extrem schmal gefiltert werden muss, um die Chromosphäre (Chromos, griech. = Farbe) der Sonne sichtbar zu machen, denn die Lichtmenge des Sonnenkontinuums ist ca. 1 Million mal heller, als das tiefrote Licht der Chromosphäre. Beobachtet wird die bei einer Wellenlänge von exakt 656.28 Nanometer. Dort liegt die Fraunhofersche Linie des Wasserstoffs im Sonnenspektrum.

Die Halbwertsbreite der Filter, die diese Linie aus dem gesamten Sonnenspektrum ausfiltert – muss enger als 1.2 Å sein (Bandpassfilter). Eine visuelle Bebachtung der Chromosphäre ist im Gegensatz zur Kalzium Sonne problemlos möglich.



Beobachtet wird dabei eine Höhenschicht die ca. 1.500- bis 2.200 Kilometer über der Photosphäre liegt. Die Chromosphäre ist einige tausend Kilometer mächtig, danach geht sie fließend in die Sonnenkorona über, die vom Amateur ausschließlich bei totalen Sonnenfinsternissen beobachtbar ist. Die Temperatur der oberen Chromosphäre liegt bei ca. 10.000 Grad Celsius und steigt dann innerhalb von wenigen tausend Kilometer aus bislang wenig verstandenen Gründen auf ca. 1 bis 2 Millionen Grad in der Korona an.

Bis in die 30ger Jahre des letzten Jahrhunderts konnte die Chromosphäre ausschließlich bei totalen Sonnenfinsternissen erforscht werden. In dieser Zeit erfand Bernhard Lyot sein Lyotsches Sonnenfilter, welches die Chromosphäre zu einer beliebigen Beobachtungszeit sichtbar machte. Ein Höhepunkt der Filtertechnik (vor den Sonnensatelliten im All) waren Sonnenfilter der Firma Zeiss, die es erlaubten das komplette visuelle Sonnenspektrum mit einer Halbwertsbreite von kleiner 0.5 Å zu scannen und somit Sonnenbilder bei einer beliebigen Wellenlänge aufzunehmen. Der Preis eines solchen Filters lag damals bei knapp 1 Million DM.

Das Lyot Filter war der Vorgänger der heutigen H-alpha Oberflächenfilter nach dem Fabry Pérot Interferometer Prinzip. Anders aufgebaut (wesentlich aufwändiger) aber nach ähnlichen physikalischen Prinzipien, erlauben diese Filter Beobachtungen der Chromosphäre mit Halbwertsbreiten von bis zu 0.3 Å (0.03nm). Am Ende finden Sie einen Link zu einer Webseite, die ein wenig die geschichtliche Entwicklung solcher Filter und die Geschichte der Chromosphärenbeobachtung beschreibt.

Baader Zubehör für die H-alpha Sonnenbeobachtung

Die Firma Baader liefert ausschließlich H-alpha Filter der Firma SolarSpectrum. Diese werden – im Gegensatz zu Mitbewerbern – im Fokus des Beobachtungsteleskops montiert, und somit sind im Prinzip Beobachtungen mit beliebig großen Teleskopöffnungen möglich.

SolarSpectrum Filter sind mit den Halbwertsbreiten 0.8, 0.7, 0.65, 0.5 und 0.3 Å lieferbar. Um die schmalen Halbwertsbreiten realisieren zu können, müssen diese Filter beheizt werden und erfordern einen annähernd parallelen Strahlengang des Teleskops von f/30. Die Preise sind abhängig von der Halbwertsbreite und vom freien Durchmesser der Filter.

Das Bild links zeigt ein Solar Spectrum Filter (Halbwertsbreite 0.5 Å) zur visuellen Beobachtung mit einem Baader 1¼" Zenitprisma und einem 40mm Zeiss Okular im Fokus eines 150mm Schaer Refraktors.

SolarSpectrum Filter werden beheizt und arbeiten bei einer ganz bestimmten Filtertemperatur. Deshalb bestehen sie aus 2 Komponenten. Zum einen aus dem eigentliche Filter (Bild oben) und aus einer digitalen Temperatursteuereinheit (Bild rechts).

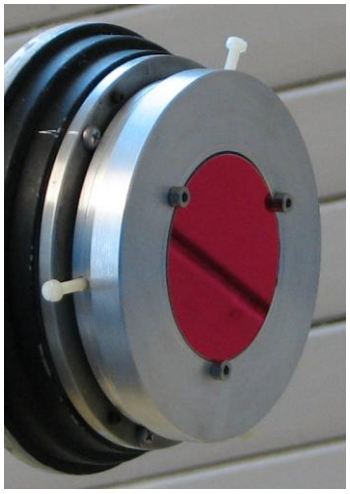
Über diese Temperatursteuereinheit lässt sich durch leichtes Verändern der Temperatur der Durchlass des Filters aus dem Zentrum der H-alpha Linie in den roten-, bzw. blauen Flügel des Spektrums gezielt verschieben. Dazu jedoch später mehr.

Diese H-alpha Filter von SolarSpectrum sind in verschiedenen Serien lieferbar (z.B. **Solar Observer Serie 1 und Serie 1,5**, **Advanced Solar Observer**, **Research Grade Filter RG 32 und RG 46**). Sie unterscheiden sich zum einen in der Halbwertsbreite, zum anderen im freien Durchmesser der Filter, der zwischen 19- und 46mm variiert.

Seit 2017 liefert SolarSpectrum H-alpha Filter der **Serie SunDancer**. Diese Filter werden wahlweise mit einem freien Durchmesser von 19 oder 25mm und Halbwertsbreiten von 0.7, 0.5 und 0.3 Ångström geliefert.

Auch diese Filter sind beheizt, jedoch erfolgt das Shiften der H-alpha Linie in den roten-, bzw. blauen Flügel des Spektrums mechanisch durch eine Verkippung des Filters im Strahlengang des Teleskops.

Der Vorteil der mechanischen Verkippung der SunDancer Filter ist der, dass die Veränderung der solaren H-alpha Strukturen im roten- bzw. blauen Flügel der H-alpha Linie sofort und unmittelbar visuell oder fotografisch sichtbar wird. Der Nachteil gegenüber der Linienverschiebung durch die Veränderung der Filtertemperatur (siehe oben) ist der, dass der Bereich in dem beobachtet wird undefiniert ist.



Leider ist es mit der Anschaffung des SolarSpectrum Filters nicht getan, denn die Filter erfordern ein Vorfilter **VOR** der Teleskopöffnung, welches die Wärmestrahlung (Infrarot) unterhalb der Arbeitstemperatur des Filters begrenzt. Auf der anderen Seite des Spektrums muss kurzwellige UV Strahlung geblockt werden, denn diese **zerstört** die empfindlichen Etalon Schichten des Filters in kürzester Zeit.

Zu diesem Zweck liefert die Firma Baader so genannte **D-ERF Filter** welche **nur** Strahlung zwischen 600 und 700 Nanometer passieren lassen.

Das Bild links zeigt ein gefasstes 75mm D-ERF Filter vor einem 100 mm Refraktorobjektiv. Die Einbaulage des Filters in Richtung zur Sonne ist markiert und unbedingt einzuhalten.

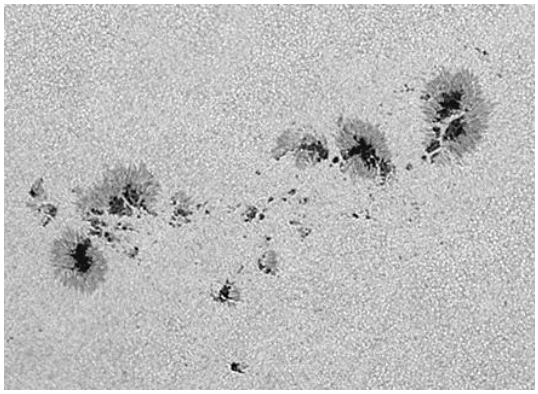
Wichtiger Sicherheitshinweis:

Im Internet kursieren zum Thema „Schutzfilter für H-alpha Teleskope“ viele Beiträge (auch von Herstellern von Zubehör für die H-alpha Sonnenbeobachtung), in denen dargestellt wird, dass es ausreichend sei ein Wärmeschutzfilter (z.B. ein Schott Wärmeschutzglas KG 3) oder ein einfaches UV-IR Sperrfilter) kurz vor dem Brennpunkt in den Strahlengang zu setzen.

Wärmeschutzfilter lassen UV Licht in voller Intensität passieren und zerstören jegliche geheizte und ungeheizte H-alpha Filter mit dem Etalon in der Nähe der Fokalebene innerhalb kürzester Zeit. OHNE ein geeignetes D-ERF Filter VOR der Lichteintrittsöffnung riskieren Sie eine Zerstörung des teuren H-alpha Filter und bei einer visueller Beobachtung auf Dauer ihr Augenlicht. Dies gilt nicht nur für SolarSpectrum Filter, sondern auch für Filter der Firma DayStar, die ähnlich aufgebaut sind.

Weiterhin ist zu beachten, dass die Filter bei Nichtgebrauch ausreichend gegen hohe Luftfeuchtigkeit zu schützen sind (z.B. Silica Gel).

Auch eine Lagerung bei tiefen Temperaturen (< 5 Grad Celsius) ist zu vermeiden. Bei einer Lagerung um 0 Grad Celsius frieren Kristalle in den empfindlichen Etalonschichten aus. Dadurch wird das Filter unbrauchbar.



Die dielektrisch beschichteten planparallelen Glasplatten der Baader D-ERF Filter sind auf λ/10 feinoptisch poliert und in Durchmessern von 75 bis 180 Millimeter lieferbar.

Die optische Qualität der D-ERF Filter ist so hoch, dass es zu keiner Beeinträchtigung der Bildauflösung kommt.

Siehe dazu links als Beispiel eine Sonnenfleckengruppe, aufgenommen durch ein Baader D-ERF Filter von 110mm Durchmesser.

Wichtiger Hinweis:

Baader D-ERF Filter sind VORFILTER und NUR zur Verwendung mit Solar Spectrum H-alpha Oberflächenfilter geeignet. D-ERF Filter sind IMMER VOR der Lichteintrittsöffnung zu montieren, wobei die markierte Einbaulage zur Sonne einzuhalten ist. Beim Einsatz von visuellen Weißlichtbeobachtungen der Sonnenoberfläche **OHNE** weitere Lichtdämpfungsfilter werden Ihre Augen irreparabel geschädigt**.**

Baader Telezentrische Systeme TZ-2, TZ-3 und TZ-4

Telezentrische Systeme TZ-2, TZ-3 und TZ-4

Um die enge Halbwertsbreite der Solar Spectrum Filter exakt auf die H-alpha Wellenlänge von 656.28nm zu zentrieren, werden die Filter einerseits (siehe oben) auf eine bestimmte Temperatur beheizt.

Weiterhin erfordern die Filter zur Einhaltung der schmalen Halbwertsbreite einen annähernd parallelen f/30 Strahlengang des Beobachtungsteleskops. Das war früher bei den gängigen f/15 Refraktoren kaum ein Problem, es genügte ja das Objektiv auf die Hälfte abzublenden. Bei den heutigen „schnellen“ Refraktoren ist das deutlich problematischer.

Diese Teleskope haben Strahlengänge um die f/7 und so müssten die Objektive auf ein Viertel ihrer Öffnung abgeblendet werden und das macht wenig Sinn.

Eine andere Möglichkeit einen f/30 Strahlengang zu realisieren, ist es die Teleskopbrennweite zu verlängern.

Wichtiger Hinweis: Eine konventionelle Barlowlinse verlängert zwar die Brennweite, erzeugt aber kein paralleles Strahlenbündel. Deshalb bringt der Einsatz einer herkömmlichen Barlowlinse zusammen mit einem schmalbandigen SolarSpectrum Filter **KEINE** befriedigenden Beobachtungsergebnisse, sie sehen nur noch einen schmalen Streifen in Bildmitte im H-alpha Bereich. Lesen Sie dazu das pdf-file mit Informationen zu den telezentrischen Systemen.

Deshalb liefert Baader 3 verschiedene, so genannte, telezentrische Systeme, die die Teleskopbrennweite um den Faktor 2-fach, 3-fach oder 4-fach verlängern.

Das Bild links zeigt den Telezentrischen Ansatz am Okularauszug des Sonnenteleskops. Die Optik des Systems sitzt in der schwarzen Hülse etwa in der Mitte. Das System endet mit einem T2 Gewinde an welches – über ein Übergangsgewinden – das SolarSpectrum Filter montiert.

Ausgehend von einem Öffnungsverhältnis von f/15 (2-fach) bzw. f/7.5 (4-fach) entsteht bei voller Fernrohröffnung mit Hilfe des TZS ein paralleler Strahlengang mit f/30 Öffnungsverhältnis. Bei kürzeren Öffnungsverhältnissen sollte die Öffnung soweit abgeblendet werden, dass das Endprodukt wieder f/30 ergibt. Der Abstand zum Fokuspunkt beträgt 200mm ab dem Linsenscheitel. Dadurch bleibt hinter dem TZS genügend Raum für das H-alpha Filter und beliebiges Zubehör, z.B. ein 2″ Zenitspiegel oder jede erdenkliche Kameraeinrichtung.

Das Baader Telezentrische System TZS-2 – wie kritisch ist der Abstand des Linsenelements zur Bildebene einzuhalten? Hier ist ein ausführlicher Testbericht (pdf-file) dazu.

Seit 2017 liefert Baader Planetarium ein 3-fach telezentrisches System, das Research Grade TZ-3. Es verlängert die primäre Teleskopbrennweite um den Faktor 3, also z.B bei einem Teleskop von 100mm Öffnung und 1.000mm Brennweite (f/10) auf 3.000mm. Das Öffnungsverhältnis liegt dann bei den geforderten f/30.

Es besitzt einen freien Linsendurchmesser von 46mm und wurde speziell für die SolarSpectrum Research Grade Filter mit 32- bzw. 46mm freiem Filterdurchmesser konstruiert. Zudem bietet es mit seinem großen Backfokus von 250mm auch die Möglichkeit der visuellen binokularen Beobachtung.

Zu einer stabilen Verbindung zwischen dem telezentrischen System und dem Solar Spectrum Filter für größere Teleskope bietet Baader das so genannte **M68 Telekompendium** an. Hier finden Sie eine Übersicht dazu.

Das System basiert auf dem M68 Zeiss Gewinde. Das Telezentrische System befindet sich im Inneren der Verlängerungshülsen und das Solar Spectrum Filter kann bequem über einen 2″/T-2 Adapter an das Kompendium angesetzt werden.

Das Bild links zeigt das M68 Kompendium mit einem eingebauten 2-fach Telezentrischen System am gleichen Refraktor wie oben

Telekompressoren zur Brennweitenreduzierung

(SolarSpectrum Telekompressor **0.7x** und Research Grade Telekompressor **0.4x**)

Nun sind solch lange Brennweiten – wie sie die telezentrischen Systeme erzeugen – bei normalen Seeingbedingungen in unseren Breiten selten einsetzbar.

Deshalb lässt sich die Brennweite HINTER dem Solar Spectrum Filter mit den **SolarSpectrum Telekompressoren** wieder zwischen einem Faktor von 0.5-fach bis 0.7-fach reduzieren, wobei der Reduktionsfaktor von der Distanz zwischen Reducer und Okular/Kamera abhängig ist. Zum Glück bietet die Sonne genug Licht, so dass die Einfügung eines weiteren optischen Elements keine große Rolle spielt.

Das Bild links zeigt als Beispiel den 0.7x SolarSpectrum Reducer (roter Kreis) vor einem 1¼″ Zenitprisma für die visuelle Beobachtung.

Die Optiken der Telekompressoren und die Vergütungen sind speziell für die H-alpha Linie bei 656.28 Nanometer gerechnet.

Der Reduktionsfaktor des SolarSpectrum **0.7x** Reducers lässt sich zwischen 0.7- und 0.5fach über den mechanischen Abstand zwischen Reducer und Okular/Webcam annähernd stufenlos durch Zwischenschalten von T2 Verlängerungshülsen einstellen.

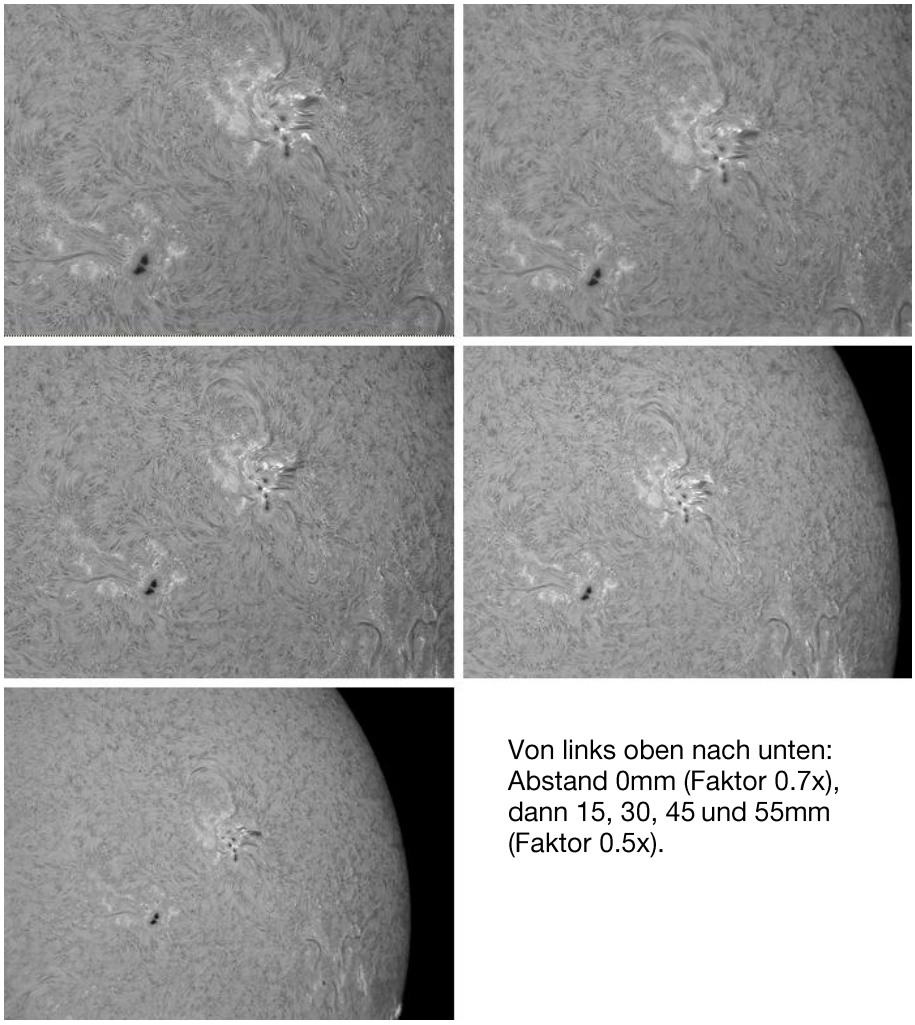
Je größer der Abstand zwischen Reducer und Okular/Webcam wird, desto weiter wird die Bildebene nach außen verlagert. Deshalb ist ausreichender Fokusweg in Richtung zum Objektiv erforderlich.

Das Bild links zeigt als Beispiel zwei T2 / 15mm Baader Verlängerungshülsen zwischen Reducer und fokussierbarer 1¼″ Aufnahme, welches in etwa den Reduktionsfaktor von 0.6-fach entspricht.

Der SolarSpectrum Telekompressor Research Grade RG 0.4x

Seit 2017 liefert SolarSpectrum den RG 04x. Er wurde zusammen mit dem 3-fach telezentrischen System zur Brennweitenverlängerung konstruiert.
Er wird okularseitig direkt auf das SolarSpectrum Filter montiert und reduziert die zuvor vom telezentrischen System verlängerte Brennweite verlustfrei wieder um den Faktor 0.4. Die Brennweite von 74mm ist optimiert für Videografie und Abbildung der gesamten Sonne mit einem korrigiertes Bildfeld von 16mm Durchmesser, ausreichend groß für die kleinen Sensoren der Videomodule.

Eine ausführliche Beschreibung zum Einsatz der Solar Spectrum Reducer finden Sie hier.



Zum Abschluss des Themas Telekompressor zeigt nachfolgende Bilder-Serie einen Vergleich des Abbildungsmaßstabes des SolarSpectrum 0.7x Kompressors mit wechselndem Abstand zwischen Kompressor und Videomodul.

Interessant ist auch der Testbericht zum Baader D-ERF Filter von Greg Piepol (pdf-file)

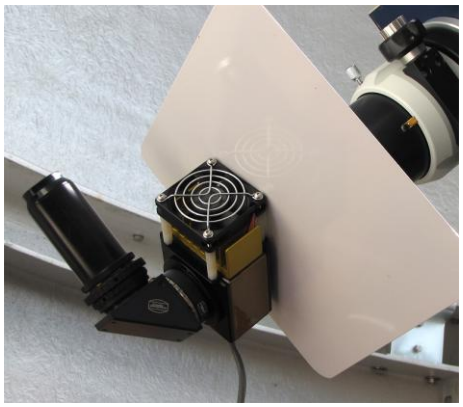
Von links oben nach unten: Abstand 0mm (Faktor 0.7x), dann 15, 30, 45 und 55mm (Faktor 0.5x).

Weiteres sinnvolles Zubehör für die Sonnenbeobachtung im H-alpha Licht von Baader Planetarium

Muss das Objektiv des Beobachtungsteleskops trotzdem noch abgeblendet werden, um den f/30 Strahlengang zu realisieren, bietet Baader eine Irisblende, die von 15- bis 113 Millimeter stufenlos einstellbar ist (wärmereflektierend, weiß eloxiert) zum Vorsatz für die Baader D-ERF Filter. Sie kann mit dem D-ERF und einer entsprechenden Filterfassung verbunden werden.

Das Bild zeigt die Irisblende mit dem dahinter liegendem D-ERF Filter vor einem 150 mm Objektiv

Hinweis: Die Irisblende kann selbstverständlich zum gezielten Abblenden eines jeden Refraktorobjektives eingesetzt werden, z.B. um Randrestfehler von preiswerten Objektiven auszublenden.

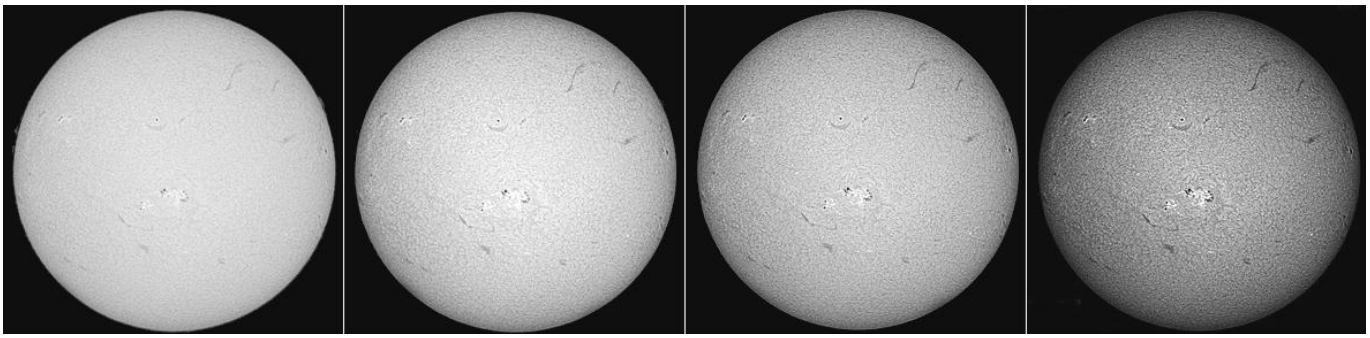


Da das visuelle H-alpha Bild relativ dunkel ist und um den Beobachter herum helles Sonnenlicht blendet, bietet Baader ein **Solar Shield** an.

Es ist eine weiß eloxierte dünne Metallplatte mit einer Bohrung, die zwischen Okularauszug und Okular befestigt werden kann und das direkte Sonnenlicht vom Auge des Beobachters abschattet

Tipps zur Auswahl der Halbwertsbreite für die Beobachtung solarer Strukturen der Sonnenchromosphäre:

Die folgende Abbildung zeigt den Kontrast der Sonnenchromosphäre, aufgenommen mit Filtern verschiedener Halbwertsbreite, zentriert auf die H-alpha Linie bei bei 656.28 nm.

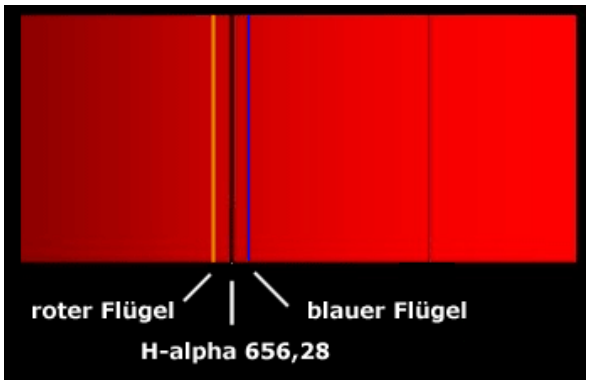


Von links nach rechts: 09-, 0.7-, 0.5- und 0.3 Å

Visuelle Beobachtung: Wollen Sie nur Protuberanzen am Sonnenrand beobachten, genügen Halbwertsbreiten (HWB) um die 0.9 bis 0.7 Å und Filterdurchmesser von 20 Millimeter. Es sind die preiswertesten H-alpha Filter. Wollen Sie Strukturen auf der Oberfläche der Sonne beobachten, sollten die Halbwertsbreiten deutlich schmaler sein. Je enger die Halbwertsbreite desto höher der Kontrast auf der Sonnenoberfläche. Und: je schmaler die Halbwertsbreite, desto dunkler wird das visuelle Bild.

Fotografische Beobachtung: Hier ist die die Wahl der HWB von Ihren Fähigkeiten in der digitalen Bildverarbeitung abhängig. Empfehlenswert sind hier schon Filter der Halbwertsbreite um die 0.5 Å.

Doch bedenken sie folgendes: Je schmaler die Halbwertsbreite der Filter, desto geringer ist der Geschwindigkeitsbereich in dem Sie beobachten. Stellen sie sich vor, Sie beobachten eine sehr schnelle solare Struktur, z.B. eine Protuberanz, in der Chromosphäre, die sich auf die Erde zu oder von dieser weg bewegt. Bewegen sich die Gasströme schnell genug, so kann es wird die Wellenlänge des Lichtes durch die Doppelverschiebung so weit aus der H-alpha Linie verschoben, dass die Struktur für den Beobachter schlichtweg unsichtbar wird.



Deshalb lassen sich die Solar Spectrum Filter geziehlt – über die Temperatur gesteuert – um den Bereich von 1 Å in den so genannten blauen oder roten Flügel der H-alpha Linie verschieben.

Somit werden sogar grobe Geschwindigkeitsbestimmungen möglich. So sind zum Beispiel im blauen Flügel häufig die so genannten Ellerman bombs in Sonnenfleckengruppen zu beobachten.

Weitere – ausführlichere - Beschreibungen zu den Baader Produkten für die H-alpha Beobachtungen finden Sie am Ende dieser Publikation.

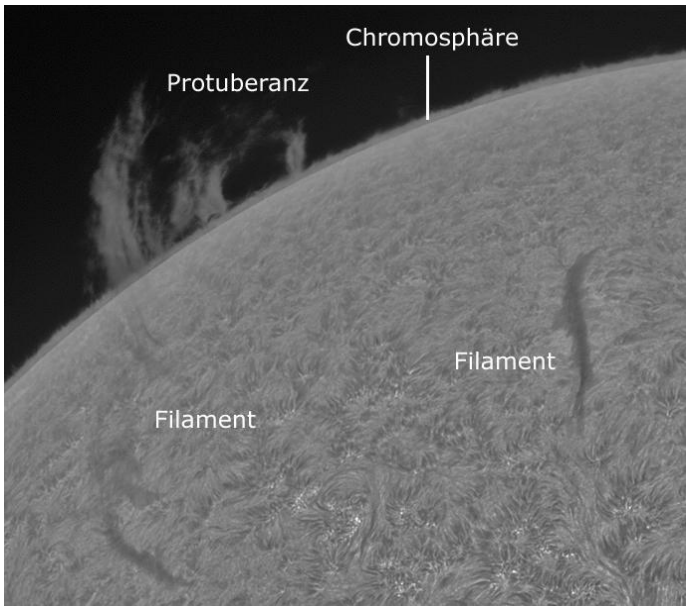
Solare Strukturen, beobachtbar im H-alpha Licht bei einer Wellenlänge von 656.28 Nanometer

Sonnenrand

- Protuberanzen
  - Inaktiv, stationär, ruhig (quiet)
  - eruptiv, surge, spray
  - „Koronaler Regen“ (Coronal rain)
  - Loop oder post Flare Protuberanz

Oberfläche

- Filamente
  - Inaktiv, stationär
  - Surge, spray
- Sonnenflecken, Superpenumbra und Plages
- Spikulen
- Flares
- Ellerman Bombs
- Field Transition Arches
- Emerging Flux Regions



Protuberanzen und Filamente: Zwei Begriffe für die gleiche solare Struktur der Chromosphäre; 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.

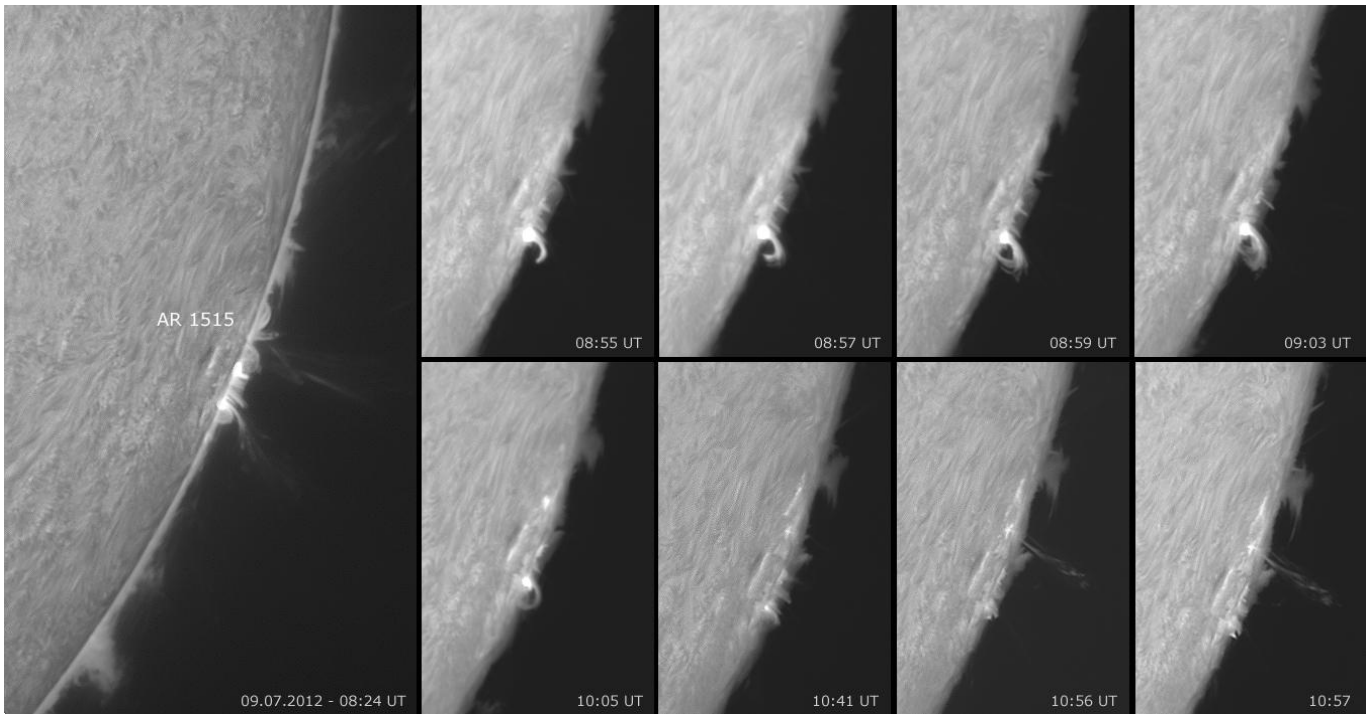
Das Bild links zeigt im linken Bereich den Übergang vom Filament zur Protuberanz. Die schmale Schicht am Sonnenrand zeigt die dünne Schicht der Chromosphäre im Schnitt.

Filamente erscheinen gegen die Oberfläche der Chromosphäre als dunkle, „fadenförmige“ graue Strukturen. Erheben sie sich am Sonnenrand gegen den schwarzen Himmelshintergrund leuchten sie in tiefroter Farbe. Oft sind sie mit Sonnenfleckengruppen assoziiert. Ruhende Protuberanzen und/oder Filamente können Lebenszeiten von mehreren Wochen erreichen. Sie verändern ihre Struktur im Laufe der Zeit durch die Änderungen der Magnetfelder zwar auch, aber eben nicht spektakulär. Die Geschwindigkeiten der Gasströme innerhalb der Magnetfeldlinien beträgt im Mittel nur wenige Kilometer pro Sekunde. Ihre Höhen über der Chromosphäre können dagegen hunderttausende von Kilometer erreichen.

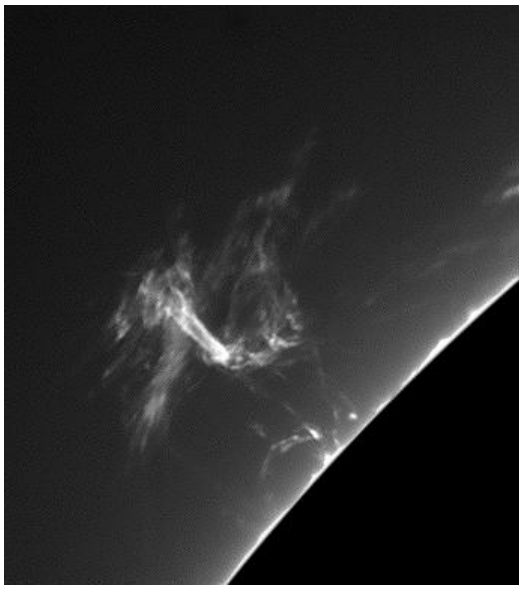
Die beiden Bezeichnungen für die gleiche solare Struktur ist historisch bedingt. Protuberanzen ließen sich spektroskopisch lange vor der Erfindung des Lyot Filters beobachten. Wegbereiter der spektroskopischen Protuberanzenbeobachtung waren unter anderem Trouvelot in Frankreich und Pater Angelo Secchi in Italien.

Eruptive Protuberanzen (Surge, Spray Protuberanzen)

Das folgende Bild zeigt die schnellen Veränderungen einer aktiven Sonneregion am 9. September 2012 zwischen 08:24 und 10:57 UTC. Aufnahme mit einem Solar Spectrum Filter mit der Halbwertsbreite von 0.5 Å. 6 Zoll Refraktor, abgeblendet auf 80 mm Öffnung.



Surge (englisch für Brandung) Protuberanzen sind häufig mit Sonnenflares assoziiert. Die Geschwindigkeiten dieser Gasströme liegen mit 100 bis 200 Kilometer pro Sekunde wesentlich höher als in ruhigen Protuberanzen. Sie erreichen Höhen von einigen zehntausend Kilometer über der Chromosphäre, bevor das Magnetfeld dann in sich zusammen bricht. Übersteigt die Geschwindigkeit des Wasserstoffgases die Entweichgeschwindigkeit der Sonne (größer 620 km/sek.) spricht man von einer **Spray** Protuberanz.

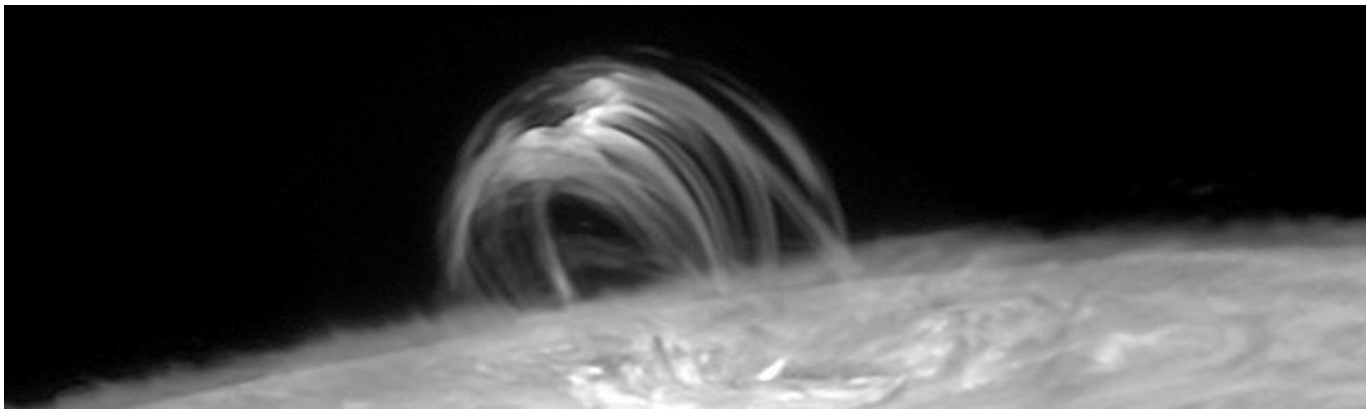


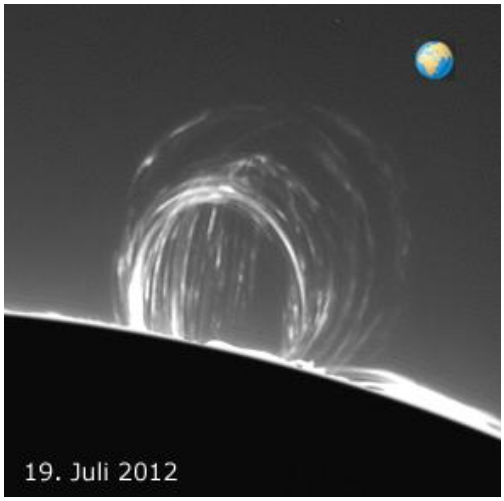
Von „**Koronalem Regen**“ spricht man, wenn nach einem Sonnenflare das ultraheiße Plasma der Sonnenkorona abgekühlt wird, kondensiert und dann an den Magnetfeldlinien in die Sonnenchromosphäre abfließt.

Die Magnetfeldlinien selbst sind natürlich unsichtbar. Aus einer Einzelbeobachtung lässt sich nicht entscheiden, ob man koronalen Regen beobachtet. Erst die Beobachtung einer solchen Sonnenregion über eine längere Zeit macht deutlich, ob das Wasserstoffgas aus der Korona nach unten fließt, oder ob es als Protuberanz aus der Chromosphäre aufsteigt.

Das Bild links zeigt eine Momentaufnahme von koronalem Regen vom 25. April 2011. Die komplette Bildsequenz finden Sie auf der begleitenden Webseite.

Die Sonnenoberfläche wurde in der Bildverarbeitung abgedeckt. Aufnahmeinstrument und Solar Spectrum Filter wie oben.





Post Flare Loop Protuberanzen

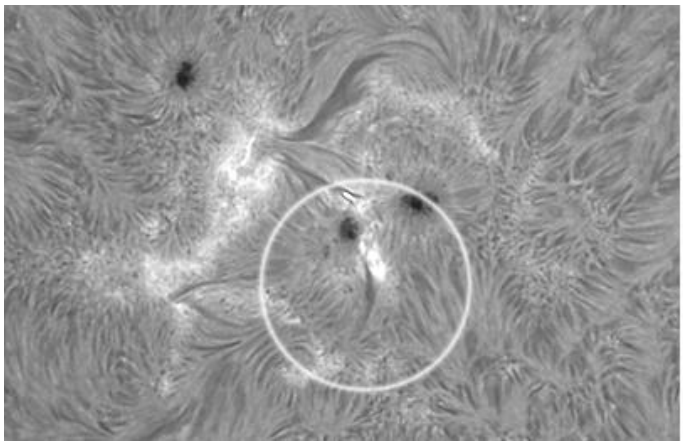
Extrem selten gelingt die Beobachtung einer post flare loop Protuberanz im Endstadium eines energiereichen Sonnenflares. Diese solaren Strukturen sind fast immer mit sogenannten „Two ribbon flares“ assoziiert.

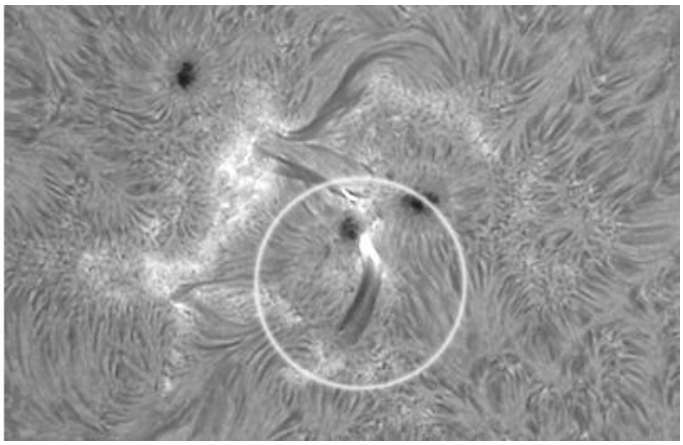
Am 19. Juli 2012 ereignete sich ein solches Ereignis (siehe Abbildung links). Die komplexe Sonnenfleckengruppe AR1520-1521 produzierte ein Flare der Klasse M7 (mittelgroße Energiedichte) und daraus auch resultierend einen so genannten Koronalen Massenauswurf. Die einkopierte Erdkugel gibt einen ungefähren Größenvergleich.

Die Sonnenfleckengruppe befand sich zu der Zeit – von der Erde aus unsichtbar – auf der Rückseite der Sonne. Der Flare ereignete sich gegen 05:30 UTC und der daraus resultierende Flare Loop brach gegen 15 Uhr UTC in sich zusammen. Die Abbildung oben zeigt ein ähnliches Ereignis (© by Mario Weigand), Beobachtungsdaten unbekannt. Auf unserer begleitenden Webseite finden Sie eine Animation dieses Ereignisses.

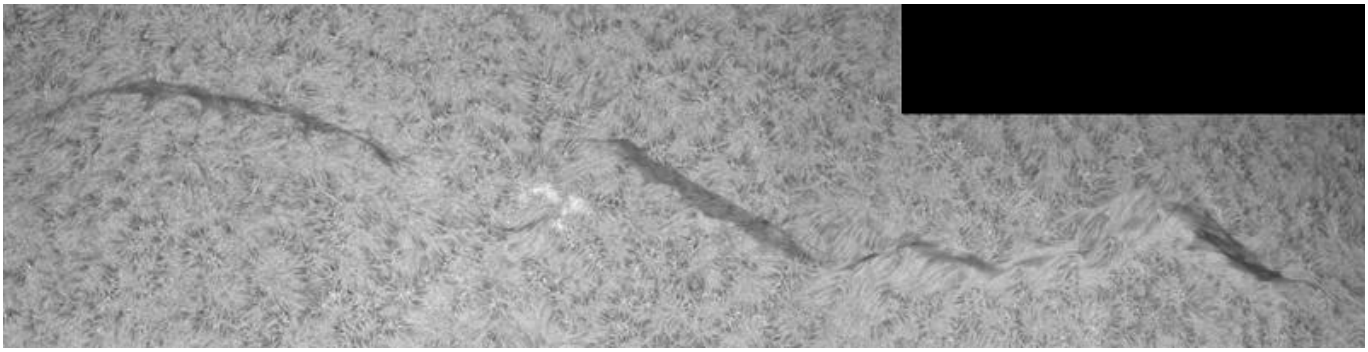
Am Ende finden Sie einen Link zu einem wirklich atemberaubenden, zeitgerafften Film dieses Ereignisses, aufgenommen bei einer Wellenlänge von 304 Å (Eisenlinie) des NASA Goddard Space Flight Center.

ALLE bisher beschriebenen Protuberanzenerscheinungen kann man selbstverständlich – dann als Filamente – auch auf der Oberfläche in Aufsicht beobachten. Das Bild unten zeigt die Entstehung eines Surge Filaments in einer bipolaren Sonnefleckengruppe mit assoziierter Flarestruktur. Die Zeitdifferenz zwischen beiden Aufnahmen betrug nur 6 Minuten.



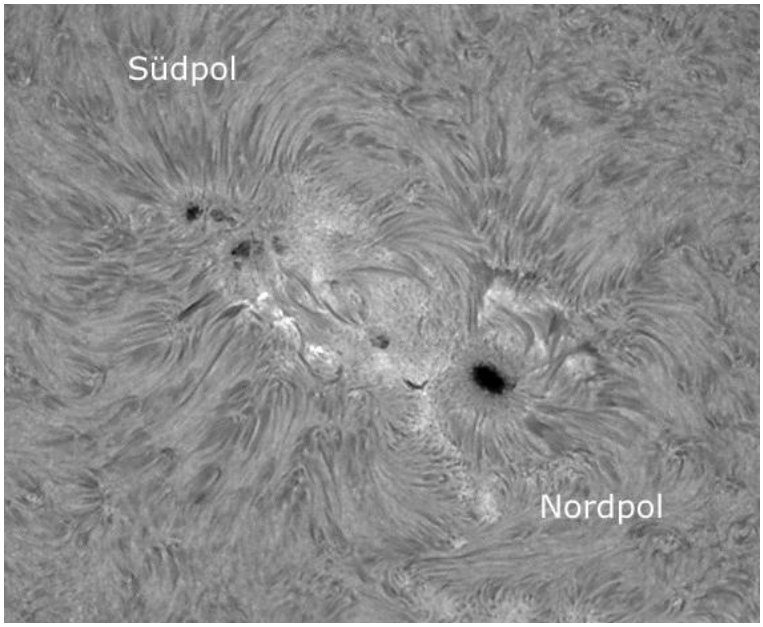


Inaktive oder ruhende Filamente können mehrere Sonnenrotationen überdauern und Längen von mehreren hundertausend Kilometer erreichen. Sind sie langlebig genug, richten sie sich in der Zeit in Richtung der Sonnenrotation (parallel zum Sonnenäquator) aus.



Das Bild (Mosaik) oben zeigt 3 alte Filamente, die sich bereits annähernd in Sonnenrotationsrichtung ausgerichtet haben. Solar Spectrum 0.5 Å Filter und 6″ Refraktor, abgeblendet auf 90 Millimeter.

Sonnenflecken, Plages und Superpenumbra



Das Bild rechts zeigt eine bipolare Sonnenfleckengruppe mit Nord- und Südpol in der oberen Chromosphäre.

Die Struktur der Sonnenflecken unterscheidet sich wenig von der im Kontinuum, der Kontrast der Penumbra ist oft deutlich geringer als im Weißlicht und im Kalzium.

Oft schließt sich jedoch in der Chromosphärenansicht an die Penumbra noch die so genannte **Superpenumbra** an (im Bild sichtbar unterhalb der Penumbra des nördlichen Flecks). Die Superpenumbra besteht aus Fibrillen genannten Strukturen von Größen von 1 bis 2 Bogensekunden und Längen bis zu 25 Bogensekunden.

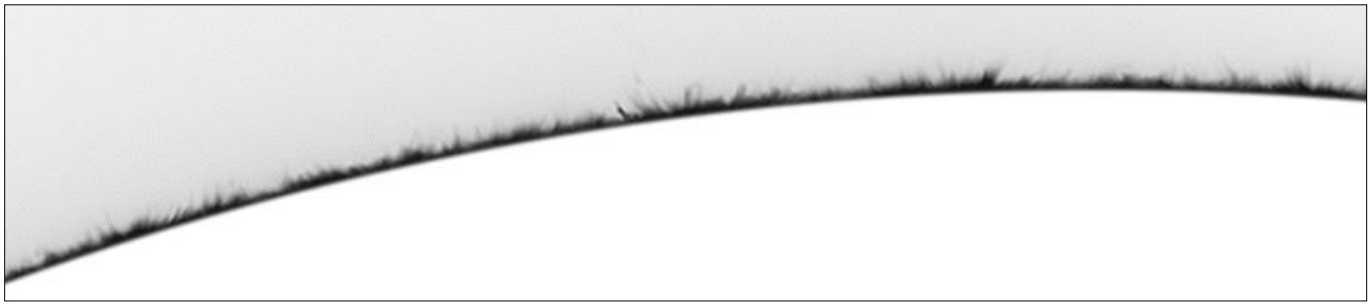
Die hellen Gebiete werden Plages genannt und sind chromosphärische Fackelgebiete. Sie liegen oft deckungsgleich zu den chromosphärischen Fackeln im Kalziumlicht, sind aber deutlich unscheinbarer und zeigen abweichende Strukturmuster.

Oft sind die Aktivitätsgebiete umgeben von einem System aus kleinen dunklen Filamenten, die die Gebiete rosettenförmig großräumig umgeben. Im Beispielbild oben sehr ausgeprägt oberhalb und links des südlichen Flecks.

Spikulen

Das erste, was bei einer visuellen Beobachtung durch ein H-alpha Teleskop auffällt, ist eine extrem dünne, halbtransparente Schicht am Sonnenrand. Dies ist die Chromosphäre, sozusagen im Schnitt betrachtet. Ein paar tausend Kilometer Höhe (etwa ein halber Erddurchmesser) über der Photosphäre liegend, wirklich eine „hauchdünne Eierschale“ im Vergleich zum Durchmesser unserer Sonne.

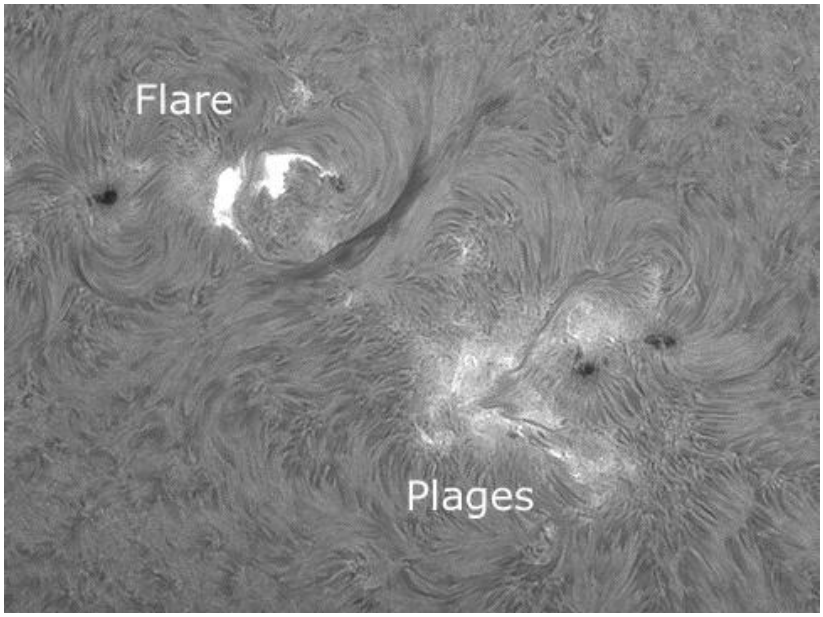
Schaut man bei hoher Vergrößerung genauer in, erkennt man, dass sie aus kleinen Strukturen – den so genannten Spikulen – aufgebaut ist. Das Wort Spikule kommt aus dem lateinischen und bedeutet soviel wie Spitze oder Spieß. Der weiter vorn im Text bereits erwähnte Pater Angelo Secchi verglich den Anblick mit einem Buschfeuer oder einer brennenden Prärie aus dem permanent Flammen emporschlagen.



Das Bild zeigt Spikulen am Sonnenrand (hier als Negativdarstellung zur besseren Erkennbarkeit). Die Sonnenoberfläche wurde in der Bildverarbeitung abgedeckt. Aufnahme vom 5. Juni 2015. 6″ Refraktor, abgeblendet auf 90 mm und Solar Spectrum Filter mit Halbwertsbreite von 0.5 Å

Spikulen haben Durchmesser von nur einigen hundert Kilometer (ungefähr Granulendurchmesser). Sie beginnen als kleine Röhren aus rasch aufsteigendem extrem heißen Wasserstoffgases entlang von Magnetfeldlinien mit sehr hohen Geschwindigkeiten. Sie erreichen im Durchschnitt Höhen bis maximal 10.000 Kilometer und fallen anschließend wieder in sich zusammen. Die Lebensdauer einzelner Spikulen beträgt maximal 5 Minuten. Auslöser sind vermutlich heftige Konvektionswirbel unter der Photosphäre. Heftige Stoßwellen spielen wohl die Hauptrolle bei der Entstehung der hohen Temperaturen der Spikulen. Sie beträgt wie in der darüber liegenden Korona etwa 1-2 Millionen Grad Celsius.

Auf der begleitenden Website zeigen wir eine Animation der Spikulen in einem Zeitabstand von nur 60 Sekunden.



Flares sind wohl die eindrucksvollsten solaren Phänomene die im H-alpha Licht zu beobachten sind. Flares sind reine Strahlungsausbrüche. In der unteren Chromosphäre können sie – sind sie energiereich genug – auch im Kalziumlicht beobachtet werden.

Das Bild links zeigt im linken Bildbereich einen beginnenden Flare verglichen mit der Helligkeit der normalen chromosphärischen Fackeln (Plages).

Die Helligkeit bestimmter Oberflächenregionen steigt bei einem Flare innerhalb kürzester Zeit (Minuten) enorm an. Sie dauern im Mittel zwischen 10 und 90 Minuten an.

Flares werden logarithmisch nach ihrer Röntgenstrahlungsenergie in die Klassen A, B, C, M und X eingeteilt. Innerhalb einer Klasse wird die Intensität mit einem Wert zwischen 1,0 und 10,0 (1,0 eingeschlossen) festgelegt. Erreicht der Wert 10,0, so wird er der nächsten Klasse zugeteilt; in der Klasse X sind auch Werte größer als 10 möglich.

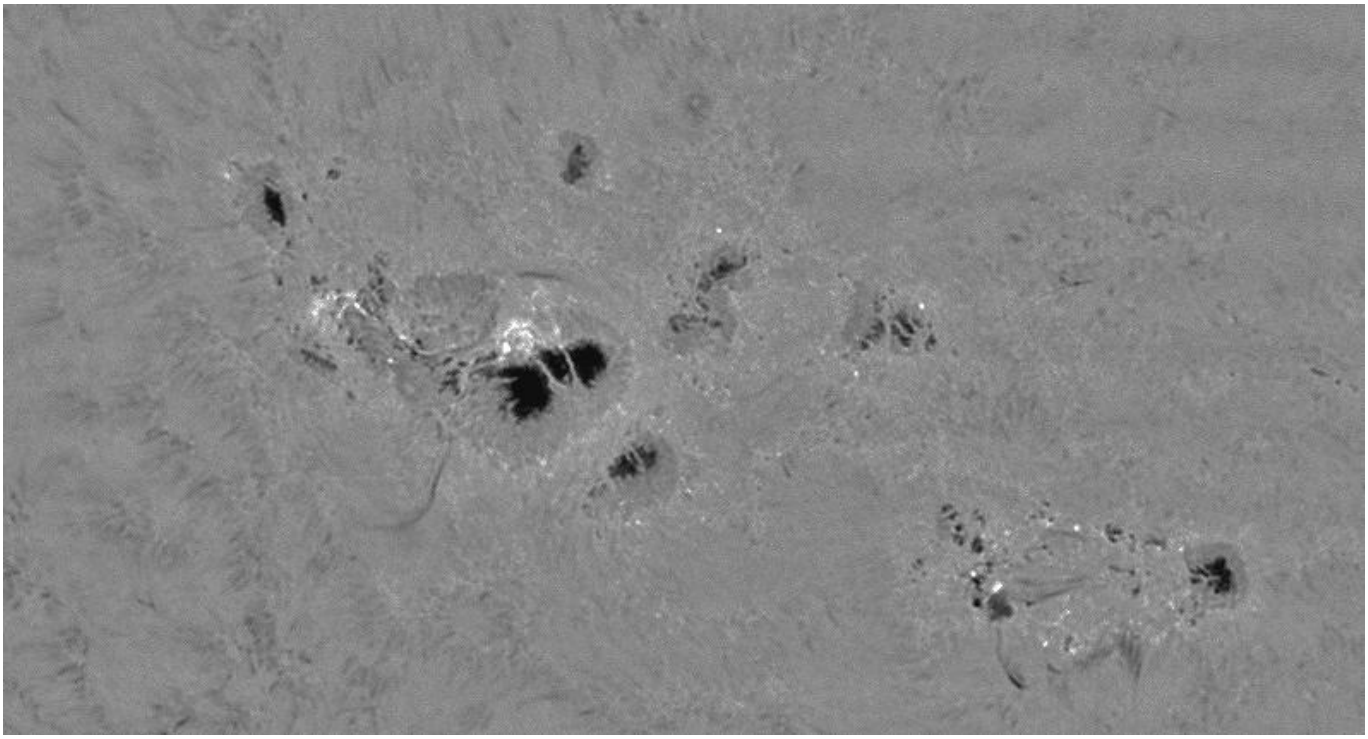
Flares zeigen eine große morphologische Variationsbreite. Es existieren sehr viele Zwischenstufen, die sich nur schwer klassifizieren lassen.

Wenn auch das Flare selbst ein reiner Strahlungsausbruch ist, so beeinflusst er natürlich das ihn umgebende Sonnenplasma. So sind Flares immer asoziiert mit eruptiven Protuberanzen und Filamenten, ebenso mit Koronalen Massenausbrüchen (englisch coronal mass ejection, CME), die treffen sie das Magnetfeld der Erde verschiedene terrestrische Wechselwirkungen auslösen. Die bekanntesten sind die Polarlichter (siehe dazu auch den letzten Abschnitt).

Flares sind – extrem simple erklärt – Kurzschlüsse von Magnetfeldern. Es erfolgt innerhalb von Sekundenbruchteilen ein Potentialausgleich. Der deutsche Sonnenforscher Kiepenheuer schrieb einmal einleuchtend dazu: „*Wo Magnetfelder sind, müssen auch elektrische Ströme fließen. Es sollte daher nicht verwundern, dass es gelegentlich zu gewitterähnlichen Erscheinungen kommt. Bei diesen Entladungen wird elektrische Energie in Licht und Wärme umgesetzt“.*

Stellen sie sich vor (aber bitte nicht nachmachen), Sie schließen den Plus- und Minuspol einer 80 Ampere Stunden Autobatterie innerhalb von Sekundenbruchteilen mit einem Draht kurz, dann simulieren Sie einen „klitzekleinen“ Sonnenflare.

Ellerman Bombs sind sehr helle, fast Flarehelligkeit erreichende, kleine punktförmige Strukturen, deshalb werden sie werden auch „Microflares“ genannt. Ihre Größe liegt zwischen einigen hundert bis zu einigen tausend Kilometer, ihre Lebensdauer beträgt meist nur wenige Minuten. Sie erscheinen fast ausschließlich in bipolaren Sonnenfleckengruppen, liegen oft am Außenrand der Penumbren von Sonnenflecken in sogenannten „emerging flux regions“.

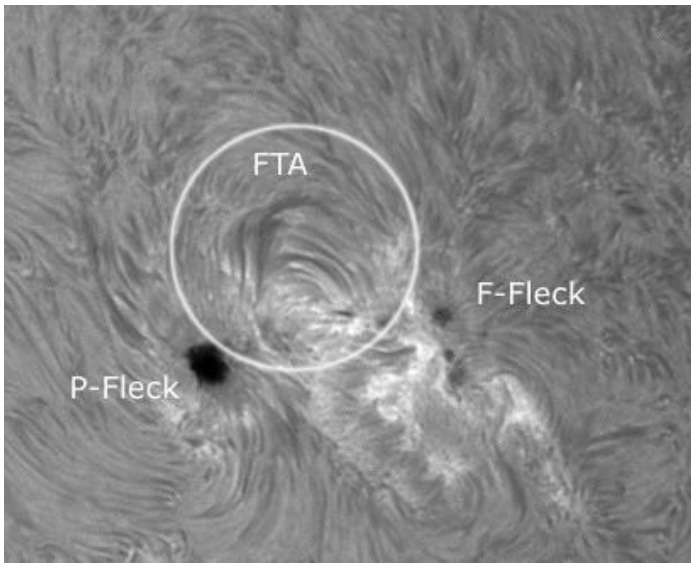


Das Bild oben zeigt Ellerman Bombs in zwei bipolaren Sonnenfleckengruppen (AR 1519 + 1520) am 10. Juli 2012. Solar Spectrum Filter während der Aufheizphase am auf 90mm abgeblendetem 6 Zoll Refraktor.

Ellerman bombs sind häufig während der Aufheizphase der Solar Spectrum Filter im blauen Flügel der H-alpha Linie zu beobachten. Weitere Informationen zu Ellerman Bombs finden Sie im Kalzium Teil dieser Publikation.

Field Transition Arches und Emerging Flux Regions

Beide solare Strukturen sind Begriffe für Filamentstrukturen in der Sonnenchromosphäre. Für sie existieren keine deutschen Bezeichnungen.

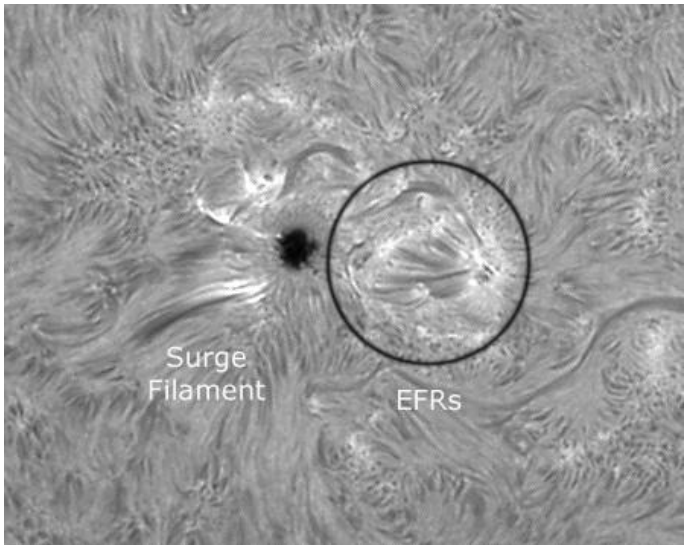


Field Transition Arches (FTA) verbinden den p- und den f Fleck (siehe Kontinuum) mit unterschiedlichen Polaritäten einer bipolaren Sonnenfleckengruppe. FTA´s unterscheiden sich von normalen Filamenten in sofern, als dass sie sehr dünn und nicht sehr dunkel sind. Üblicherweise liegt unterhalb einer solchen Struktur ein chromosphärisches Fackelgebiet mit Granulationsstruktur.

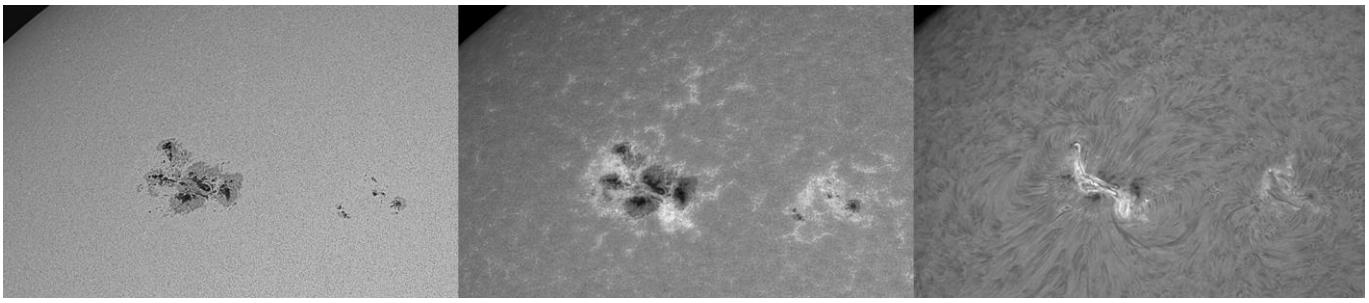
FTA´s am 30. Juni 2012, aufgenommen mit 0.5 Å Solar Spectrum Filter und auf 80mm abgeblendetem 6 Zoll Refraktor

Emerging Flux Regions sind Gebiete in der Chromosphäre in denen magnetische Flußröhren zwischen einem magnetischen Dipol aus dem Sonneninnern an die Oberfläche brechen. Die Fußpunkte der beiden Pole zeigen meist gerade entstehende Sonnenflecken. Der Dipol wird dabei von bogenförmigen Filamenten mit einander verbunden. Oft liegen mehrere solcher Flussröhren parallel nebeneinander.

Surge Filamente und kleine Flares in diesen Regionen sind nicht selten. Unterhalb der Filamente liegen oft kleinere chromosphärische Fackelgebiet.



Das Bild rechts oben, aufgenommen am 2. Juli 2012, zeigt einige, parallel liegende, magnetische Flussröhren. In diesem Fall ist einer der Sonnenflecken (links) bereits voll ausgeprägt. Innerhalb des Kreises sind bereits kleine A-Flecken sichtbar. Instrument wie oben.

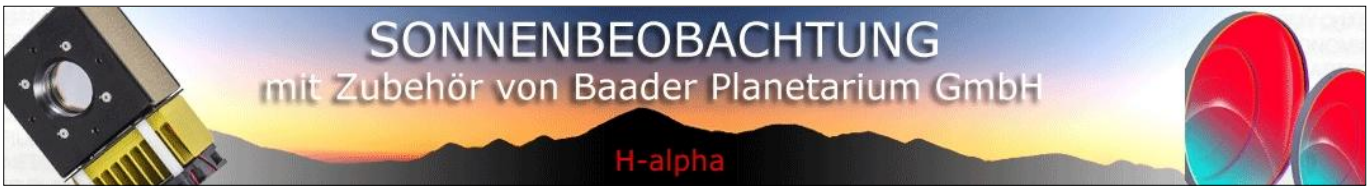


Zum Abschluss ein Vergleich der Sonnenfleckenregion AR 1429 am 3. Juni 2012, links im Kontinuum, mitte im Kalzium- und rechts im H-alpha Licht.

Damit sind alle – dem Amateur mit gängigen Teleskopöffnungen – zugängliche solare Strukturen beschrieben. Im folgenden geben wir Ihnen noch einige Links zu interessanten Webseiten oder pdf-downloads.

Alle Bilder – wenn nicht anders angegeben – und Text: © 2011 – 2015 by Dipl.-Ing. Wolfgang Paech

Weiterführende Links zur H-alpha Sonnenbeobachtung:



Bilder dieser Publikation und viele weitere Beispiele und Animationen voller Auflösung
http://baader-planetarium.de/solare-strukturen/h-alpha.htm

Zur Geschichte der Entwicklung von Schmalbandfiltern für die Chromosphärenbeobachtung

http://www.baader-planetarium.de/Solar Spectrum/funktion_halpha/geschichte_Solar Spectrum.htm

Zeitrafferfilm der Post Flare Loop Protuberanz vom 19. Juli 2012, credit NASA/Goddard Space Flight Center

http://svs.gsfc.nasa.gov/11168

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.de • kontakt@baader-planetarium.de • Celestron-Deutschland.de