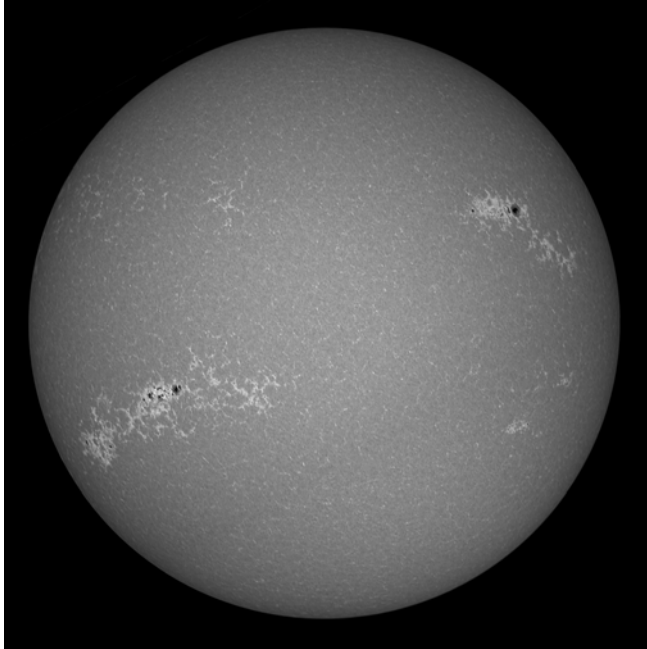


Die Sonne im Licht des ionisierten Kalziums und ihre wahre Farbe

Joseph Fraunhofer hat 1814 erstmals die solaren Spektrallinien beobachtet und die auffälligsten mit Großbuchstaben durchnummeriert. Die Nummerierung beginnt im roten und 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 Å) und
CA-H: 396,85 nm (3968,5 Å)

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

Filter zur Beobachtung der Kalzium Linien

Aktuell (2011) gibt es drei Anbieter von Filtern für den Amateurbereich:



Das **Baader** CA-II Filter ist mit ca. 8nm Durchlass (HWB) relativ breitbandig und überdeckt beide Linien (K und H). Er darf ohne Vorfilterung (Folie, Objektfilter oder Herschel Prisma) NICHT eingesetzt werden.

Das Filter steigert den Kontrast von Photosphärischen Fackelgebieten am Sonnenrand enorm, in der Mitte der Sonnenscheibe bleibt er relativ wirkungslos. Durch den breiten Durchlass ist er al-

erdings für visuelle Beobachtungen gut einsetzbar. Das Filter ist preislich die günstigste Alternative (2011 ca. € 250.-).

Die Firma **Coronado** bietet einige komplette Fernrohre zur Sonnenbeobachtung im Kalziumlicht mit verschiedenen Öffnungen an (rechts im Bild der SolarMax 70 mit 400mm Brennweite). Geliefert komplett mit Zenitspiegel und Okular, suggerieren diese Teleskope dem Käufer, dass man die Sonne visuell im Kalziumlicht beobachten kann.



Der Listenpreis liegt 2011 bei ca. € 3500.-, abverkauft werden sie um die € 2.000.-, da angeblich eine neue Modellreihe in der Produktion ist. Aufgebaut sind die CAK Teleskope genau wie die H-alpha Teleskope von Coronado: vorn vor dem Objektiv ein Etalon und im Zenitspiegelgehäuse integriert ein entsprechendes Blockfilter. Die Halbwertsbreite der Filter wird mit $<0.22\text{nm}$ (2,2Å), zentriert auf die CA-K Linie. Die enge Halbwertsbreite filtert die CA-H Linie aus.

Die relativ neu auf dem Markt agierende Firma **Lunt** beschreitet zwei Wege. Zum einen bietet sie ähnlich wie **Coronado** komplette CAK Teleskope an, zum anderen gibt es Module, die man okularseitig in beliebigen Teleskopen bis 100mm Öffnung einsetzen kann.



Eingebaut in eine 2" Steckhülse sitzt das Etalon mit einem speziellen ERF Filter und im Spiegelgehäuse befindet sich der Blockfilter. Der Zenitspiegel suggeriert auch hier die visuelle Beobachtung. Die Abbildung links zeigt das CAK Modul BF 1200. Die Durchmesser der Blockfilter sind für eine maximale Brennweite von 1200 mm ausgelegt (11.5mm Sonnendurchmesser im Fokus).

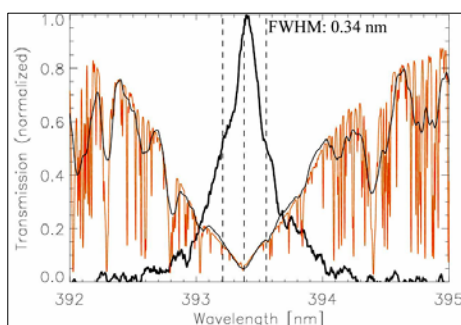
Diese Module sind auch ohne Zenitspiegel lieferbar, haben aber lange Lieferzeiten. Ein solches CA-K BF 1200 Modul von Lunt kostet zur Zeit ca. € 1.300.-. Die Halbwertsbreite der Filtermodule wird ebenfalls mit $<0.22\text{nm}$ (2,2Å), zentriert auf die CA-K Linie. Die enge Halbwertsbreite filtert die CA-H Linie aus.

Die Coronado und Lunt CAK Filter sind nach Herstellerangaben komplett UV und IR geblockt. Gemessene Filterkurven sind mir nicht bekannt, so dass auch nicht klar ist, wie steilkantig die Filterkurve verläuft. Bei Filtern mit Halbwertsbreiten von ca. 2 Å spricht man von einem K2, K3 Bild der Sonne (siehe oben). Um z.B. Protuberanzen im Kalziumlicht vor der Oberfläche beobachten zu können (Filamente), müssen die Halbwertsbreiten deutlich schmaler, bei ca. 0.05nm, sein; dann spricht man von einem reinen K2 Bild.

Solche schmalbandigen CAK Filter gab es vor langer Zeit von der Firma DayStar aus den USA für den Amateurbereich. Ob die Nachfolgefirma solche Filter noch liefern kann, ist mir nicht bekannt – ich vermute aber nicht. Als Lieferant kommt zur Zeit wohl nur noch die Firma **SolarSpectrum** in Frage; der Preis eines solchen engbandigen CAK Filters dürfte sich aber im Bereich eines kleinen Mittelklasse PKW bewegen.

Was zeigen diese Filter auf der Sonne und wo genau wird beobachtet

Beobachtet wird eine Höhenschicht der Sonne, die ca. 500km oberhalb der Photosphäre (Weißlicht = Continuum bei ca. 550nm) liegt. Im Prinzip also die Grenzschicht zwischen Photosphäre und der unteren Chromosphäre (im H-alpha Licht bei 656,28nm beobachtet man die obere Chromosphäre, die Übergangsschicht zu Sonnenkorona).

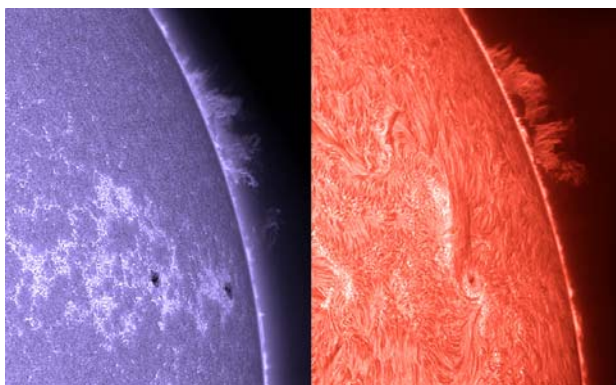
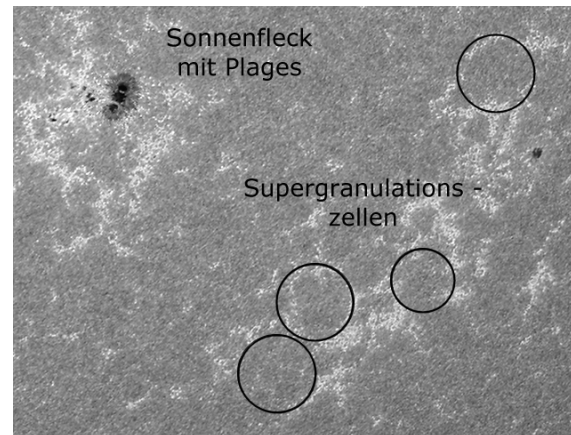


- Je enger die Halbwertsbreite und je steiler die Flanken des Filters, desto genauer definiert ist die Höhenschicht in der beobachtet wird. Sind die Filterflanken nicht steil genug, „streuen“ andere Wellenlängen und damit andere Höhenschichten in das Bild.

Das Bild links zeigt die Absorption der CA-K Linie und darüber gelegt die Filterkurve des CAK Filters der Station Kanzelhöhe in Österreich.

Das CA-K Bild zeigt eine relativ dunkle Sonnenscheibe, von der sich sehr hell das **chromosphärische Fackelnetzwerk** abhebt. Es ist – im Vergleich zum Bild im Kontinuum – über die ganze Sonnenscheibe sichtbar. Üblicherweise sind diese Fackelgebiete mit Sonnenflecken assoziiert und in englischsprachiger Literatur werden sie **Plages** genannt.

Dem Fackelnetzwerk übergeordnet ist die so genannte **Supergranulation**. Es sind Strukturen, ca. 30.000km im Durchmesser und ihre äußere Begrenzung wird durch helle Fackelpunkte markiert. Einzelne dieser Supergranulationszellen sind oft gut beobachtbar, um das komplette Netzwerk sichtbar zu machen, sind die CA-K Filter noch zu breitbandig.

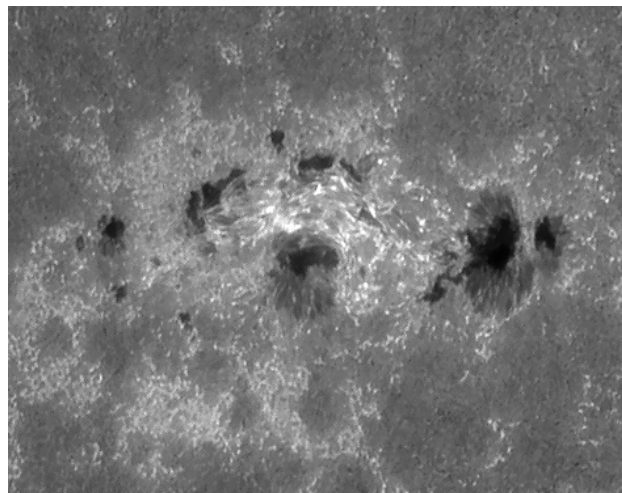


Sonnenflecken erscheinen ähnlich strukturiert wie im Kontinuum. Der Kontrast zwischen Umbra und Penumbra ist im CA-K Licht jedoch deutlich stärker, der äußere Rand der Penumbra erscheint oft deutlich dunkler als im Weißlicht.

Ebenso werden helle **Protuberanzen** am Sonnenrand sichtbar, die aber deutlich unstrukturierter als im H-alpha Licht wirken (Abbildung links).

Flares sind ebenfalls beobachtbar, jedoch deutlich seltener als in der oberen Chromosphäre aber doch deutlich häufiger als die sehr seltenen Weißlichtflares. Relativ häufig zeigen aktive Sonnenfleckengruppen ein Muster aus kleinen, aber sehr hellen Strukturen, die vermutlich als „Miniflares“ definiert werden können.

Die **Randverdunklung** der Sonne im CA-K Licht ist deutlich stärker als im Kontinuum.

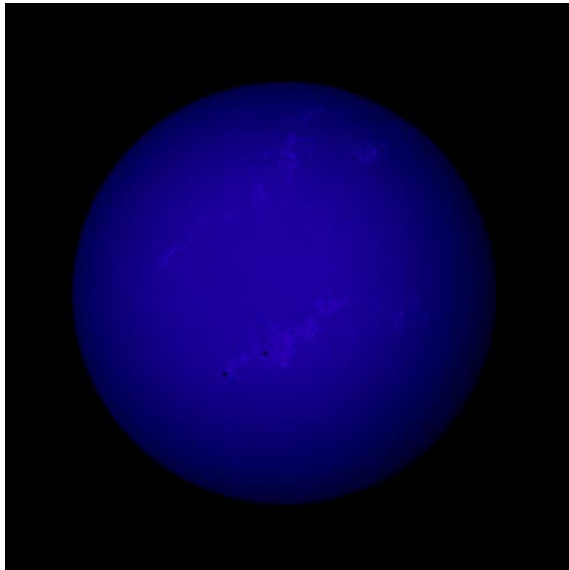


Die visuelle Beobachtung

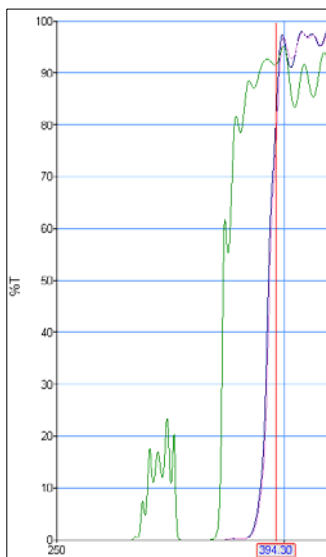
Für den Verfasser – im Alter von fast 60 Jahren – erscheint die Sonne im CA-K Licht als sehr dunkelblaue Scheibe, ohne jede Strukturen. Auch die hellen Gebiete des Fackelnetzwerkes sind nicht sichtbar. Ein Fokussieren des Bildes – selbst im Coronado Teleskop bei f/6 – ist grenzwertig.

Ein ca. 25 Jahre jüngerer Beobachter sieht deutlich mehr - und auch angedeutet das chromosphärische Fackelnetzwerk. Dieser Effekt ist darin begründet, dass sich mit zunehmenden Alter die Augenlinse eintrübt und diese Trübung ist von gelblicher Farbe. Die Trübung wirkt als Gelbfilter und filtert einfach den blauen- und violetten Farbbereich aus.

Zudem erscheint mir bei meinem Alter von fast 60 Jahren, dass Sonnenbild „körnig“, wie durch ein Mattglas betrachtet.

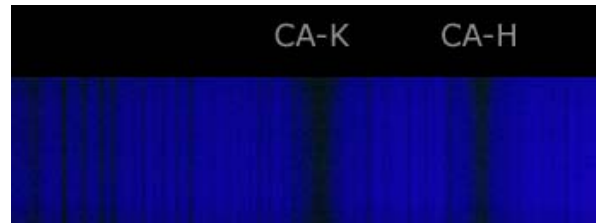


Die beiden Bilder zeigen ungefähr den visuellen Eindruck, links eines ca. 30 jährigen- und rechts eines ca. 60 jährigen Beobachter. Das Rohbild dazu für mit einer Canon EOS 40D am Coronado Solarmax 70 aufgenommen.



Wellenlängen unterhalb von 390 nm können das Auge stark schädigen, deshalb ist von einer visuellen Beobachtung – weil auch von Coronado und Lunt keinerlei Filterkurven veröffentlicht werden – generell abzuraten, weil nicht klar ist, wie gut die Filter im UV Bereich des Spektrums geblockt sind. Deshalb kommt sowohl fotografisch als auch visuell ein IR Sperrfilter von Astronomik im Strahlengang zum Einsatz, da der im Vergleich zum Baader UV/IR Cut bei 393nm noch eine Transmission von ca. 90% hat.

Wie sieht aber nun die Farbe bei diesen Wellenlängen wirklich aus. Das nebenstehende Bild zeigt die beiden Kalzium Linien nach einer Filmkopie aus Göttingen. Der Film zeigt die Linien bei einem dunklen Blau, ähnlich wie die beiden visuellen Bilder oben.

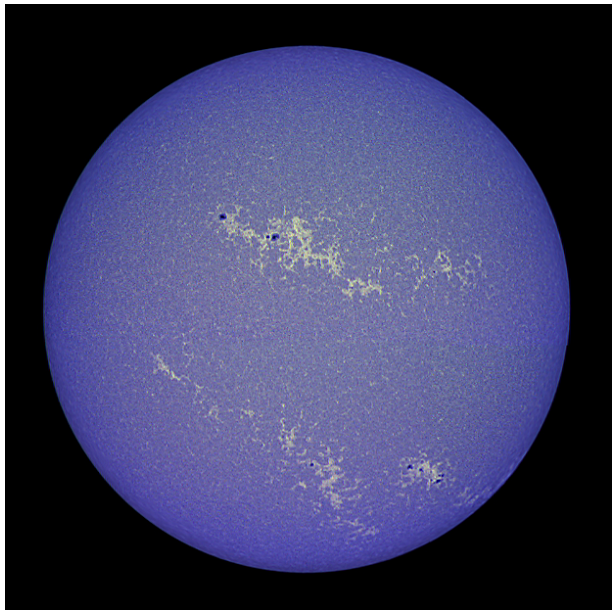


Schaut man sich ein modernes, hoch aufgelöstes Spektrum an¹, so zeigen sich die Kalzium Linien in deutlich violetter Farbumgebung.

Bestimmt man das Violett in der Nähe der CA-K Linie so misst man eine RGB Verteilung von ca. 150/033/255, also einen verschwindend kleinen Grünanteil

¹ http://www.astrosurf.com/spectroheli/spectre_solaire-en.php

Die farbige Kalziumsonne, aufgenommen mit einer Canon EOS 40D und einer DMK 21 von „The Imaging Source“ (TIS)



DMK 21 von TIS

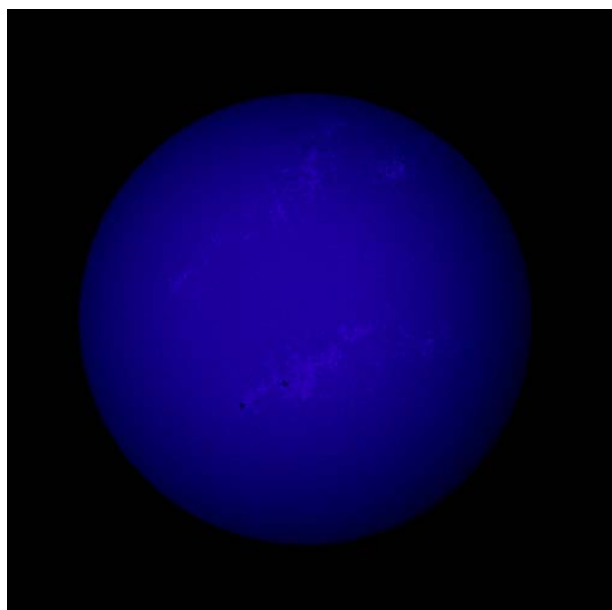
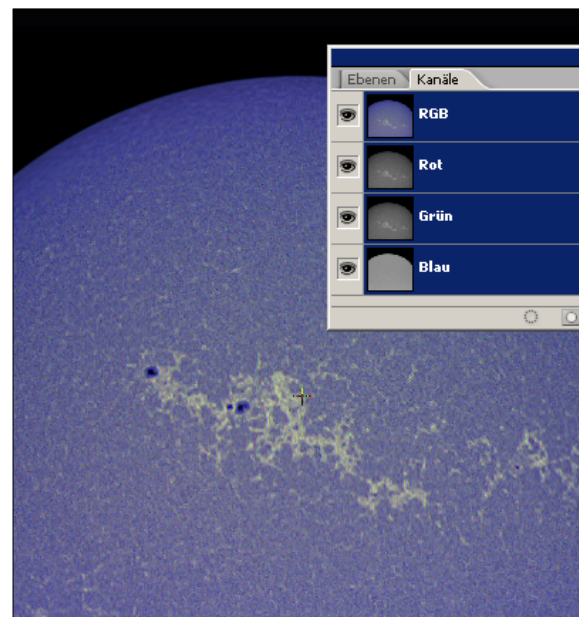
Die DMK 21 (Farbversion ohne internes UV/IR Sperrfilter) zeigt die Sonne im CA-K Licht am Sonnenrand in blauer Farbe, das Zentrum der Sonnenscheibe in leicht violett und die Fackelgebiete erscheinen leicht gelblich.

Das Bild stammt vom 29.03.2011 und wurde in vier Mosaikteilen mit dem Coronado Solarmax 70 aufgenommen.

Zerlegt man das Bild in die RGB Bestandteile, so zeigt sich, dass der Grünanteil des Bildes von der Luminanz praktisch dem Rot- und dem Blaubild entspricht.

Woher der hohe Grünanteil des Bildes stammt, ist mir nicht erklärbar (ev. spielt hier die Bayer Matrix der DMK Kamera eine Rolle). Rot- und Grünkanal zeigen ein normales Bild, der Blaukanal ist deutlich heller, dafür jedoch völlig strukturlos.

Die Aufnahmen wurden in IC Capture über einem automatischen Weißabgleich aufgenommen.

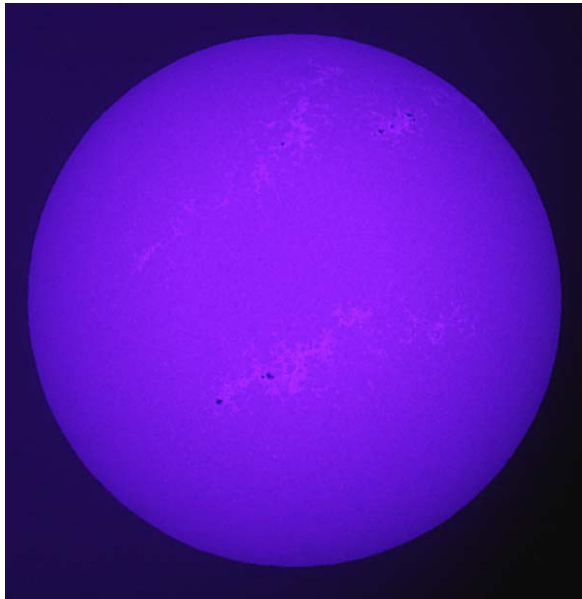


Canon EOS 40D

Bei kurzen Belichtungszeiten (wie im Bild links dargestellt) erscheint die Farbe ähnlich wie im Göttinger Sonnenspektrum.

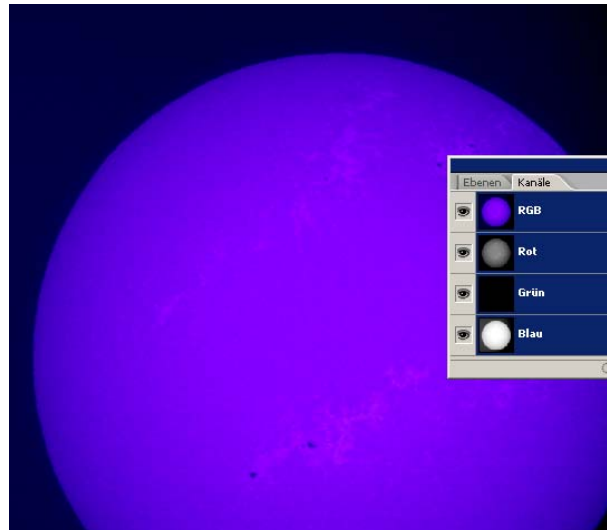
Jedoch bei längerer Belichtungszeit (ca. 1/30sek) erscheint der Sonnenrand blau – violett, die Scheibenmitte und die hellen Fackelgebiete werden nun violett dargestellt.

Zerlegt man das Canon EOS Bild in seine RGB Komponenten, so zeigen die Farbauszüge, dass was man erwarten sollte: ein Rot- und ein Blaubild und im grünen Bereich so gut wie keine Luminanz.



Misst man diese Farbtöne in der Bildbearbeitung ergeben sich folgende RGB Werte:

- Sonnenmitte R/G/B = 147/30/255
- Sonnenrand RGB = 102/14/216

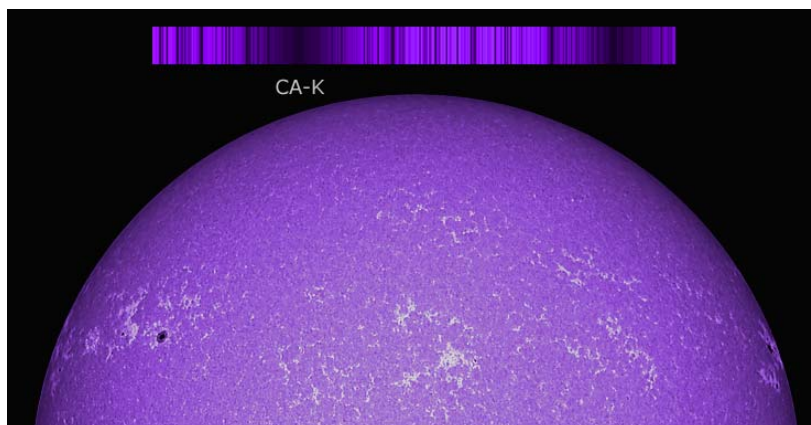


Rechts im Bild die drei Farbkanäle, der Grünauszug ist praktisch nicht vorhanden.

Die RGB Verteilung des Canon Bildes von 147:30:255 entspricht ziemlich genau der des Spektrum auf der Seite 2.

Somit könnte man davon ausgehen, wäre das Auge in diesem Spektralbereich noch empfindlich genug, dass man die Sonne in diesem Farbton visuell beobachten könnte. Die Farbe der DMK Kamera ist sicher nicht maßgebend, denn der Grünanteil des Bildes ist viel zu hoch.

Sollen farbige Bilder der Sonne in der CA-K Linie erzeugt werden, empfiehlt es sich monochrome Bilder entsprechend einzufärben, denn direkte Farbbilder zeigen viel zu wenig Kontrast und die Belichtungszeiten mit einer DSLR sind viel zu lang.



Allerdings ist true colour von RGB von 150:033:255 eine – zumindest für meine Begriffe – „scheußliche“ Farbe (siehe Abbildung links).

Deshalb sollte man die Farbgebung etwas in Richtung Blau verschieben.

Monochrome Bilder einzufärben ist gar nicht so einfach, denn es muss ver-

mieden werden, dass die hellen Bildbereiche ebenfalls zu stark eingefärbt werden, weil das den Bildkontrast sehr stark reduzieren würde.

Man findet im Internet häufig rot- oder gelb/orange eingefärbte Bilder der Sonne, die in der H-alpha Linie aufgenommen wurden. Diese wirken oft sehr „künstlerisch“, denn stellt man die Sonne wirklich in dem satten Rot dar, welches man bei visueller Beobachtung wahrnimmt, fällt der Bildkontrast enorm ab.

Zwei Möglichkeiten der Bildeinfärbung

Von der US Firma MEDIA CHANGE² gibt es ein uraltes Freeware Programm, mit dem man über monochrome Bilder Kodak Wratten Filter legen kann. Es heißt „Filter Sim“ und kann hier herunter geladen werden³. Es besteht im Prinzip nur aus einem .exe-file, welches ohne weitere Software läuft und dementsprechend nicht installiert werden muss.

mit **FILTER SIM** (Kodak Wratten Filter)

1. entsprechendes monochromes Bild laden und
2. Kodak Wrattenfilter 80 A auswählen

Wichtig ist, dass die Checkbox „Auto Compensation + AWB aktiviert ist, denn diese Funktion verhindert, dass die hellen Bildpartien zu stark mit eingefärbt werden. Bild abspeichern und weiter bearbeiten mit Photoshop oder einer ähnlichen Bildverarbeitung.

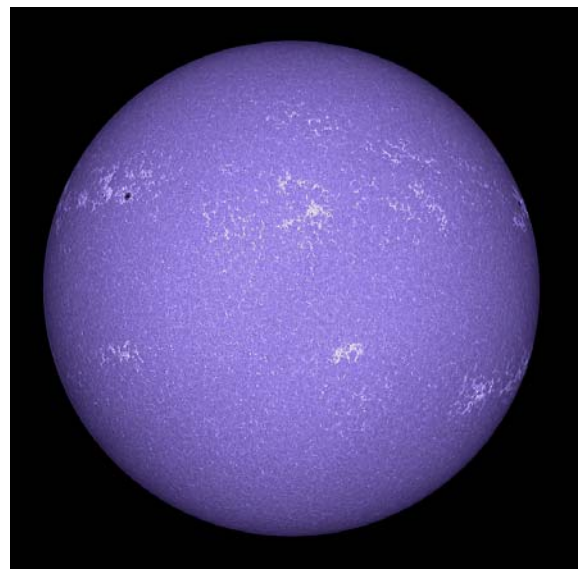
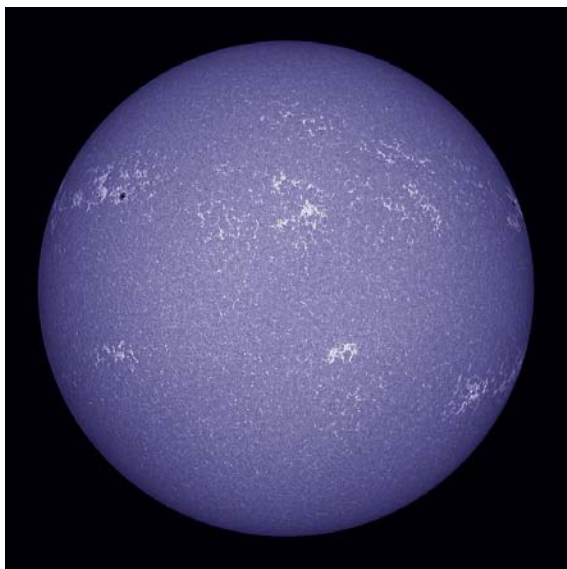
3. Kontrast um ca. 10% absenken,
4. Tonwert B Kanal Mittenregler (Gamma) auf + 1,3 und
5. Farbton/Sättigung auf ca. +20 (nach Belieben)

mit **Photoshop** (CS 2)

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.

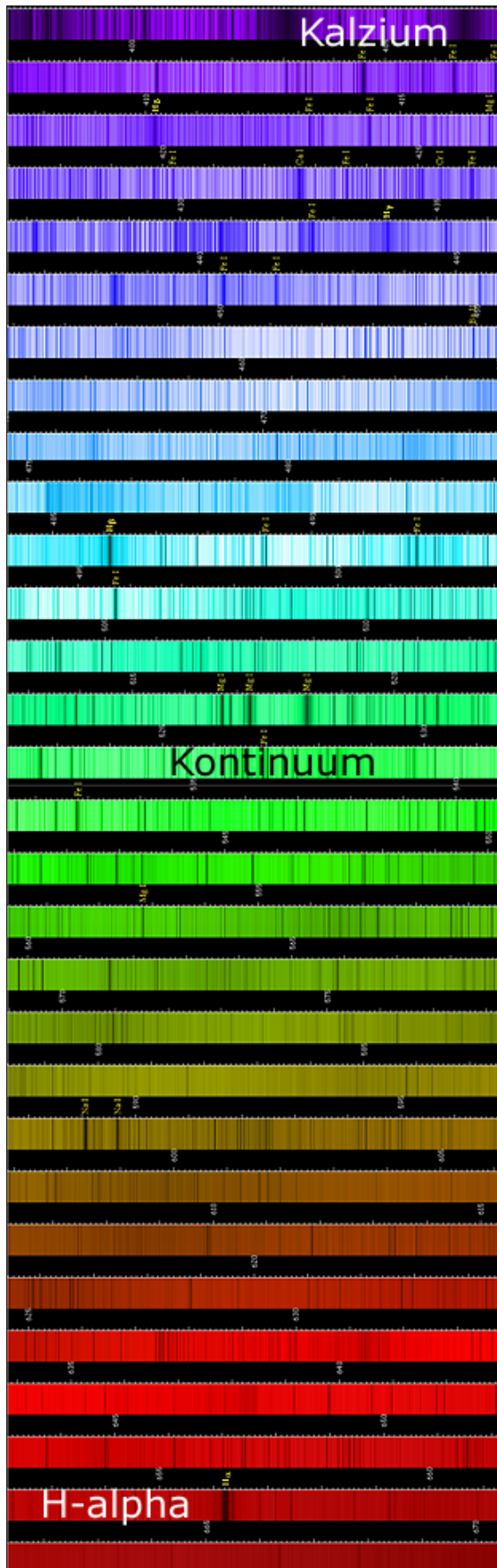
Zwei Bildbeispiele



Links: Wrattenfilter 80A, eingefärbt mit FilterSim, rechts Photoshop eingefärbt über die Funktion Fotofilter. Letztlich entscheidet das persönliche Farbempfinden.

² <http://www.mediachance.com/>

³ <http://www.astrotech-hannover.de/downloads/sonne>



Links im Bild ein komplettes Linienspektrum des Sonnenlichtes (Quelle⁴). Kontinuum zeigt den Bereich, gefiltert mit einem Baader Solar Continuum Filter, bei ca. 540nm

© 2011 by Wolfgang Paech

Weblinks

Tägliche Sonnenbilder mit den NOAA Nummern:

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/sunspots/>

Aktuelle Sonnenaktivität:

<http://www.spaceweather.com/>

Sonnenobservatorien:
Kanzelhöhe

<http://www.kso.ac.at/>

Kiepenheuer Institut Freiburg

<http://www.kis.uni-freiburg.de/>

Universität Göttingen

<http://www.mps.mpg.de/projects/seismo/>

Sonnenspektrum und Spektrohelioskop

<http://www.astrosurf.com/spectroheliio/spectro-en.php>

⁴ http://www.astrosurf.com/spectroheliio/spectre_solaire-en.php

