

## Wie eine verworfene Idee doch noch eine Umsetzung fand

# Ein Spektroheliograf entsteht

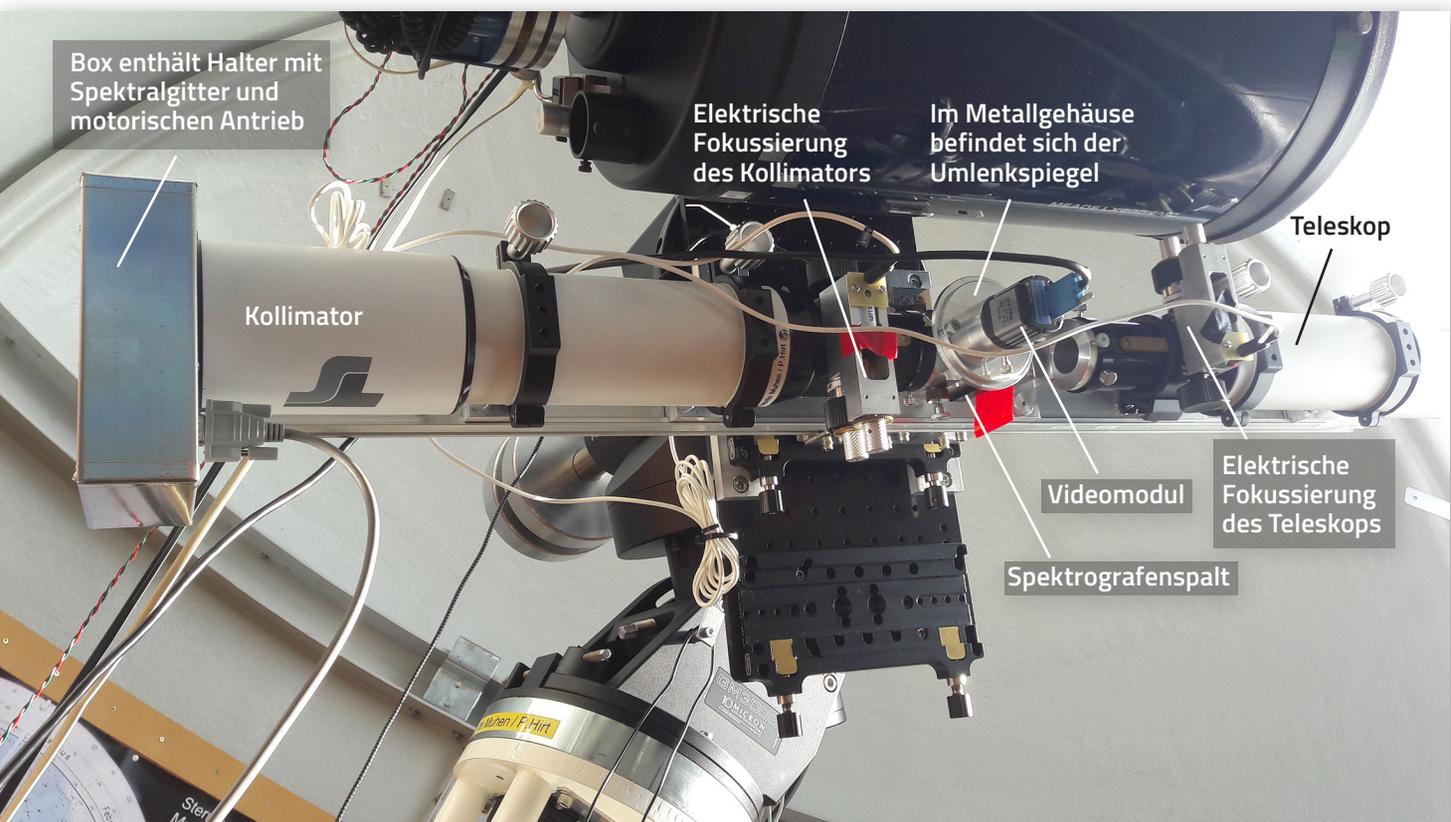
**Es gibt Ideen, die man schnell wieder verwirft, weil sie aus Zeitgründen schier nicht umsetzbar sind. So erging es mir als Schüler mit einem Spektrohelioskop zu Beginn meiner Laufbahn als angehender Amateurastronom. Jahrzehnte später kehrte die Idee des Baus eines Spektroheliografen rein zufällig wieder zurück.**

**Beitrag:** Peter Hirt

Mein erstes Teleskop, ein Fraunhofer-Refraktor mit 900 mm Brennweite und einer Öffnung von 60 mm, habe ich mit meinem Taschengeld im Jahr 1981 gekauft. Das attraktivste Objekt zum Beobachten war der Mond. Die Sonne konnte auch mithalten, war doch damals das Maximum der Anzahl Sonnenflecken erreicht. Im kleinen Büchlein Astrofotografie der Herren *Karkoschka*, *Merz* und *Treutner* konnte ich das Handwerk der Astrofotografie, damals noch mit analogen Kameras Schritt für Schritt erlernen. In diesem Büchlein war auch ein Spektrohelioskop beschrieben. Ich war damals Schüler und mag mich noch ganz gut daran erinnern, ich machte mir Gedanken, ob ich ein solches Instrument selbst bauen könnte. Spiegel schleifen und Newton-Teleskope bauen war für mich im Bereich des Möglichen als angehenden Amateurastronomen, aber ein Spektrohelioskop, das war viel zu aufwendig. Somit war die-

ses interessante Instrument schnell wieder in Vergessenheit geraten. Einige Jahrzehnte später habe ich bei einer Recherche im Internet zufällig einen Spektroheliografen gefunden, welcher der Amateurastronom *Fulvio Mete* (Sector of Spectroscopy of the UAI 'Italian Amateur astronomers Union') konstruiert und gebaut hatte. Nun war die Zeit gekommen, um mit einfachen Mitteln ein solches Gerät zu bauen. Mittlerweile gibt es Videomodule, und die digitale Bildverarbeitung hat einen gewaltigen Fortschritt gemacht. So habe ich mich vor zwei Jahren entschieden einen Spektroheliografen zu konstruieren und zu bauen. Da ich keine Erfahrung mit solchen Geräten hatte, habe ich das Projekt in zwei Teile gegliedert: Die erste Phase bestand aus dem Bau eines Spektroskops für hochauflösende Sonnenspektren, die zweite in der Erweiterung des Spektroskops zu einem Spektroheliografen. Dieser besteht aus eini-

Abbildung 1: Hier sehen wir die einzelnen Teile des Spektroheliografen. (Bild: Peter Hirt)



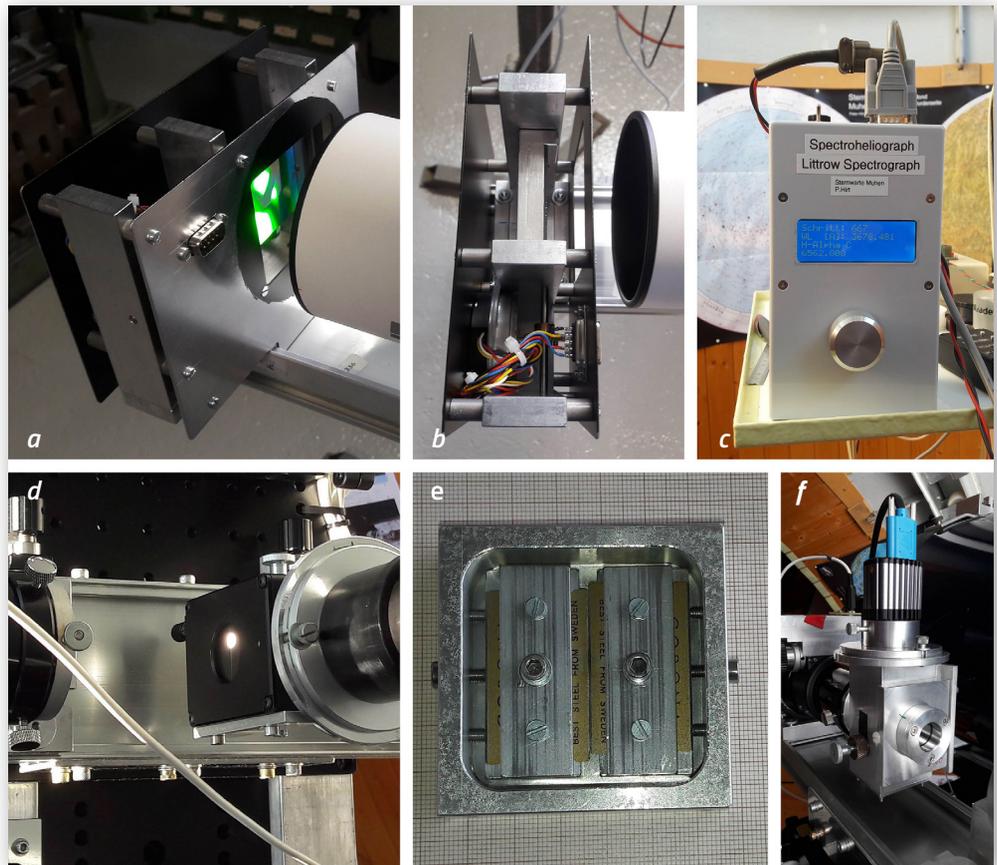


Abbildung 2: Ein paar Detailansichten: a) Konstruktion des Spektralgitter-Halters, b) Konstruktion des Spektralgitter-Halters, Schrittmotor und Schneckengetriebe, c) Elektronik der Steuerung des Schrittmotors, d) Einstellbarer optischer Spalt (Firma: Standa), montiert im Brennpunkt des kleinen Refraktors (ist links ausserhalb des Bildes). Der Durchmesser des Sonnenscheibchens auf dem optischen Spalt beträgt etwa 5 mm. e) Ein anderer einstellbarer optischer Spalt mit polierten Rasierklingen. Neben dem Spektralgitter ist der optische Spalt ein zentrales Bauteil eines Spektroheliografen. Die Qualität der Aufnahmen hängt stark von der Qualität des optischen Spalts ab. Aus diesem Grund wurde mit verschiedenen optischen Spalts experimentiert. f) Fixer optischer Spalt auf Glassubstrat 10um (Firma: Graticules Optics) zusammen mit Videomodul Skyris 274M. (Bilder: Peter Hirt)

gen Komponenten, welche heute leicht zu beschaffen sind. Aber es gibt auch Komponenten, welche nicht auf dem Markt erhältlich sind und einiges Handgeschick nötig machen. Schwierig war die Beschaffung des Kollimators sowie des optischen Spalts. Ich habe mir daher den kleinen Refraktor gleich zweimal beschafft. Den Grund erkläre ich später. Der Spektroheliograf besteht aus den folgenden Komponenten:

- Kleiner Refraktor, Öffnung 80 mm, Brennweite 560 mm, der Firma Teleskop Service TS
- Einstellbarer optischer Spalt, Eigenkonstruktion mit polierten Rasierklingen
- Kollimator: Hier verwende ich einen gleichen kleinen Refraktor wie oben beschrieben. Die Aufgabe des Kollimators ist es, das konvergierende Strahlenbündel wieder aufzuweiten, damit es wieder parallel wird, bevor es auf das reflektive Spektralgitter fällt.
- Spektralgitter 50 x 50 mm<sup>2</sup> mit 2'400 Grooves / mm der Firma Edmund Optics
- Umlenkspiegel, um den Strahlengang auf ein Okular oder Videomodul umzulenken
- Videomodul ZWO ASI 290MM oder Skyris 274M oder Okular
- Diverse mechanische Teile, welche selbst konstruiert und gebaut werden mussten
- Schrittmotor mit Schneckengetriebe und Ansteuerlektronik
- Diverse Software für die Erstellung eines Sonnenbildes im gewählten Spektralbereich

### Und so funktioniert das Spektroskop

Die Funktionsweise des Spektroskops ist leicht erklärt: Die Sonnenstrahlung wird durch den kleinen Refraktor geleitet. In dessen Brennpunkt befindet sich der optische Spalt. Vom optischen Abbild der Sonne (das

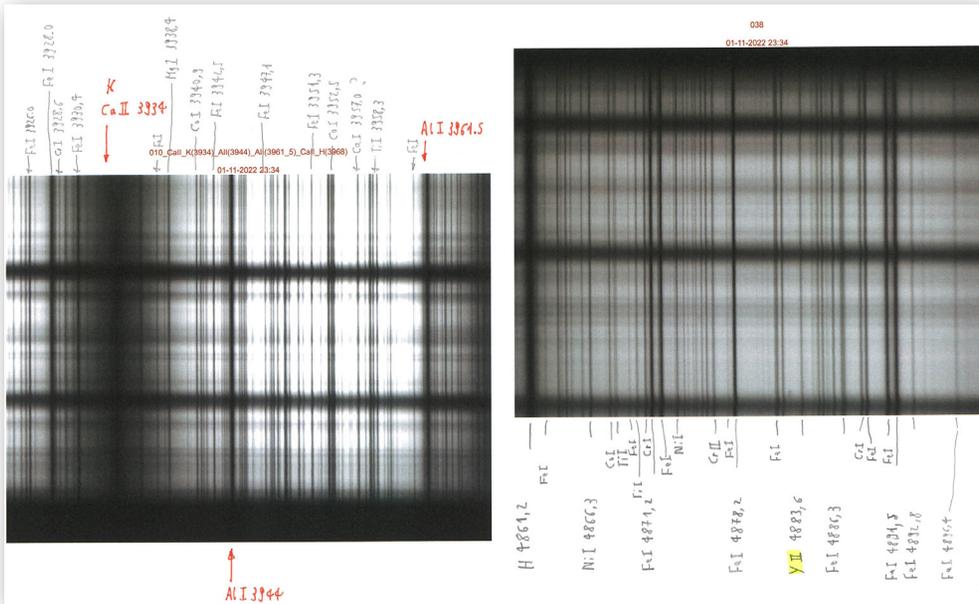


Abbildung 3 (links): Kalziumlinie Ca II H (3934 Angström) und Umgebung. Die horizontalen Linien sind Transversalium-Linien. Rechts sehen wir die Spektrallinie H $\beta$  (4861.2 Angström) (Bild: Peter Hirt)

Sonnenbildchen hat in meinem Fall ca. 5 mm Durchmesser) fällt nur ein ganz kleiner Teil des Lichts durch den optischen Spalt. Das Strahlenbündel wird im Kollimator wieder «parallel» gebrochen und gelangt anschliessend auf das reflektive Spektralgitter, welches das weisse Licht in die Spektralfarben zerlegt. Das Licht des Spektrums gelangt abermals durch den Kollimator,

welcher als Abbildungsoptik dient. Damit das Licht des Spektrums nicht in den kleinen Refraktor zurückgeleitet wird, ist im Strahlengang ein Umlenkspiegel platziert, welcher das Spektrum zum Okular oder Videomodul führt. Da es sich hier um ein hochauflösendes Spektroskop handelt, kann im Okular nur ein ganz kleiner Ausschnitt des Spektrums betrachtet werden. Will

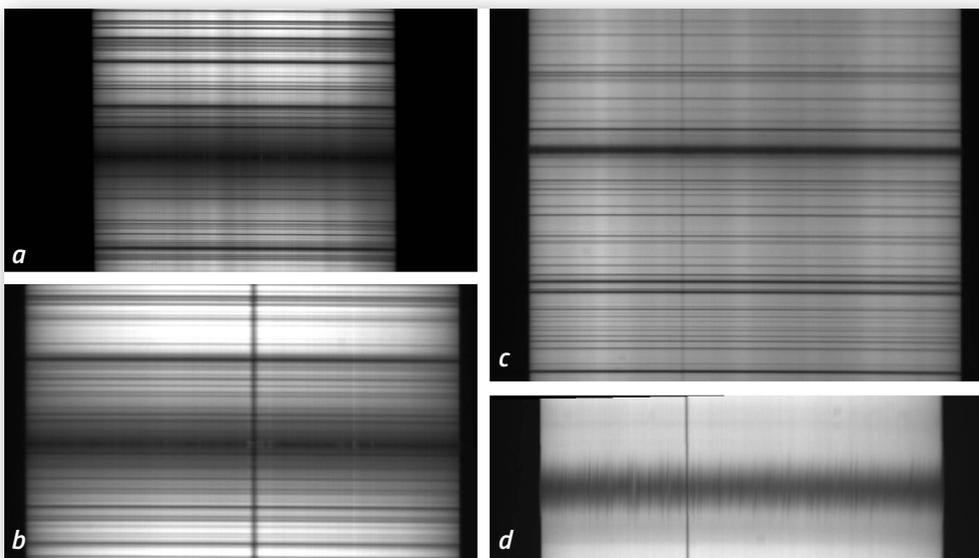


Abbildung 4: a) Spektrallinie Ca II K und Umgebung. Der Spektrografenspalt ist so ausgerichtet, dass bei abgestellter Nachführung der Montierung die Sonne über den Spektrografenspalt wandert. Das heisst, dass die Linke und Rechte Begrenzung jeweils die Nord-Süd-Richtung des äquatorialen Koordinatensystems zeigt (wenn das Sonnenbildchen im Brennpunkt den Spalt zentral überschreitet). b) Spektrallinie Ca II H und Umgebung. Die vertikale Linie ist ein Sonnenfleck. Die Sonnenflecken sind ja bekanntlich über einen grossen Wellenlängenbereich sichtbar. Der Rand der Linie ist unscharf, das kommt von der Penumbra des Sonnenfleckes. c) Spektrallinie H $\beta$  und Umgebung. Die vertikale Linie entsteht wegen eines Sonnenfleckes. d) Die horizontale Linie ist die Spektrallinie H $\alpha$ . Die Unregelmässigkeiten in der H $\alpha$ -Linie werden verursacht durch die Strukturen auf der Sonne. Dunkle kurze Linien werden durch Filamente erzeugt, helle kurze Linien durch Flare und Sonnenflecken machen sich durch eine lange vertikale Linie bemerkbar. (Bild: Peter Hirt)

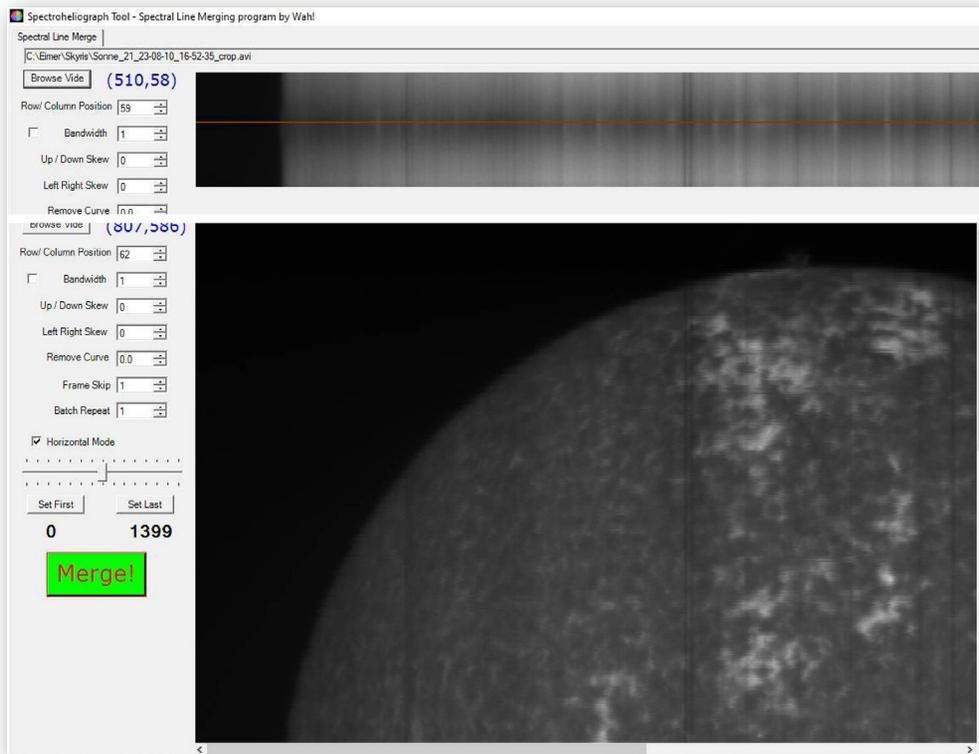


Abbildung 5: Als Ergebnis liefert das Programm «Spectroheliograph Tool» die Sonne im Lichte der eingestellten Spektrallinie, hier beispielsweise im Lichte der Kalziumlinie. (Bild: Peter Hirt)

man das ganze Spektrum vom Ultravioletten bis zum Infraroten sehen, muss das Spektalgitter gedreht werden. Diese Aufgabe wird bei meinem Spektroskop mit Hilfe eines Schrittmotors und Schneckengetriebe erledigt. Um diesen in Gang zu bringen, wurde eine Elektronik gebaut, welche die Position des Spektalgitters hochgenau steuert. Der Drehwinkel des Spektalgitters ist proportional zur Wellenlänge, welche gerade im Okular oder Videomodul zu sehen ist. Mit der Elektronik kann die genaue Wellenlänge eingestellt werden.

### Erfolgreiches «First Light» und ein zweidimensionales Sonnenbild

Nach dem Zusammenbau des Spektroskops, respektive des Spectroheliografen, konnte ich im Jahre 2022 das «First Light» der ersten Phase des Spektroskops durchführen. Ich bestaunte erstmals das Sonnenspektrum hochauflösend im Okular und später via Videomodul auf dem Bildschirm; tausende Spektrallinien, natürlich bekannte Linien, wie die Wasserstofflinie  $H\alpha$  oder die Kalziumlinie  $Ca II K$ , aber auch Linien von chemischen Elementen, die nicht geläufig sind, etwa jene von Kupfer, Barium, Kohlenstoff oder Strontium. Bei tausenden von Spektrallinien ist es schwierig den Überblick zu behalten. Eine grosse Hilfe bietet der Spektrallinien Atlas für die Sonne von *Jan Olof Senflo* für die Zuordnung der chemischen Elemente zu den Spektrallinien. Nachdem das «First Light» der ersten Phase erfolgreich war, konnte die zweite Phase in Angriff genommen werden. Wie entsteht nun das zweidimensionale Bild der

Sonne aus dem Licht einer einzelnen Spektrallinie? Das kann mit dem Scannen des Sonnenbildes erfolgen. Dazu wird eine einzelne Spektrallinie eingestellt und der Spectroheliograf so positioniert, dass das Sonnenbildchen über den optischen Spalt läuft. Das kann erreicht werden, indem man die Teleskopnachführung anhält oder verlangsamt. In meinem Fall dauert dieser Vorgang knapp 120 Sekunden. Während dieser Zeit wird mit Hilfe des Videomoduls die eingestellte Spektrallinie aufgezeichnet. Wenn auf der Sonne Sonnenflecken, Filamente, Fackelgebiete oder Protuberanzen vorhanden sind, wird die Spektrallinie beim Scannen sich verändern. Als ich dies anlässlich des zweiten «First Lights» im Jahr 2023 zum ersten Mal auf dem Bildschirm verfolgen konnte, war ich überwältigt und dachte an *George Ellery Hale*, der vor genau 100 Jahren der erste war, der die Sonne mit dieser Technik in verschiedenen Spektralbereichen beobachten konnte. Damals gab es noch keine digitale Bildverarbeitung oder Videomodule; es musste eine aufwendige mechanische Konstruktion gebaut werden, um ein Bild der Sonne auf Fotopapier zu belichten. Für mich war es ein spezielles Gefühl, auf einmal in den Fusstapfen des Pioniers von damals zu stehen.

Für die Bildgewinnung verwende ich die folgenden Programme:

- FireCapture oder ASICap: Bedienung der Videomodule

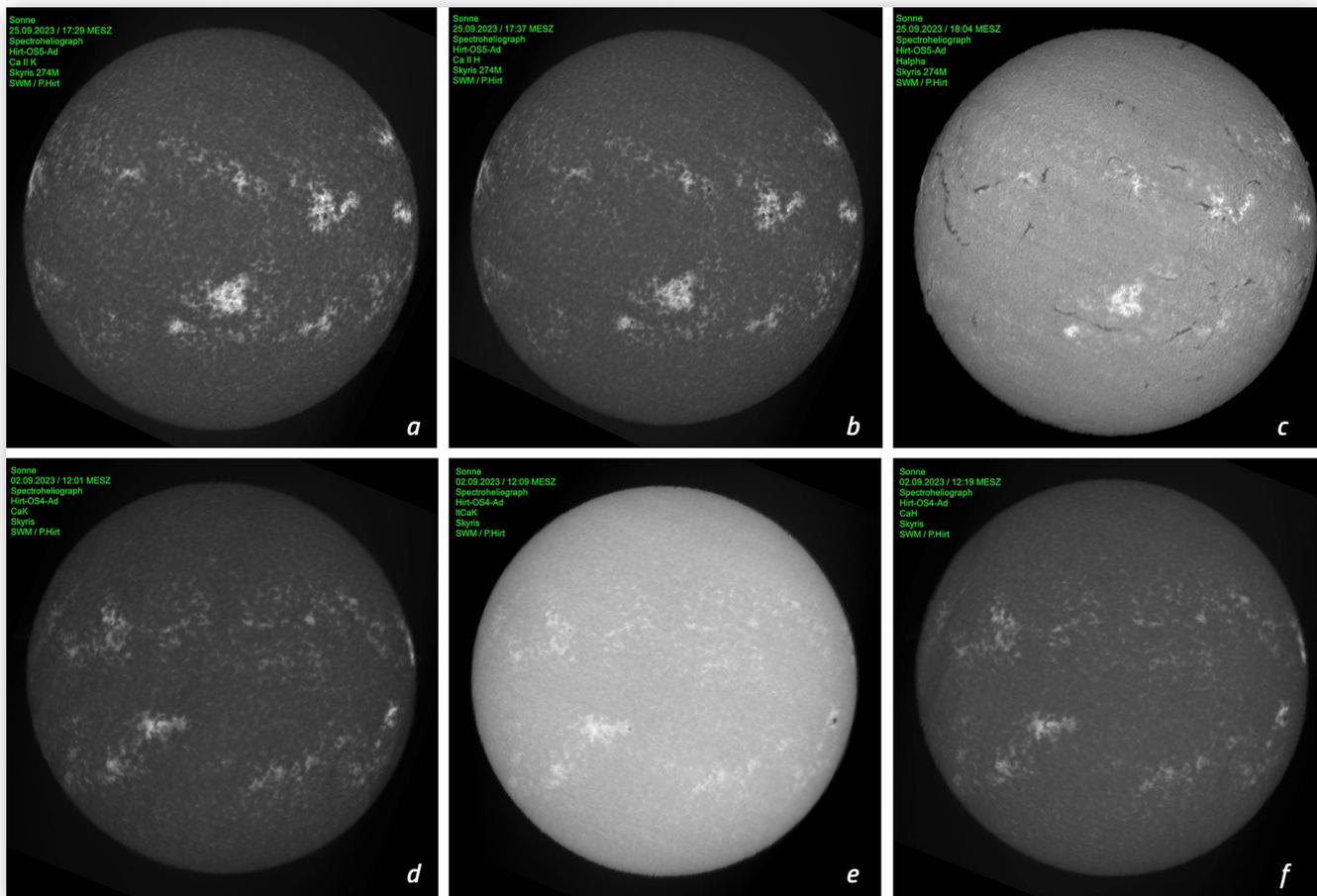


Abbildung 6: Hier sehen wir verschiedene Ansichten der Sonne: a) Sonne Ca II K am 25. September 2023, b) Sonne Ca II H am 25. September 2023, c) Sonne H $\alpha$  am 25. September 2023, d) Sonne Ca II K am 2. September 2023, e) Sonne Ca II K am 2. September 2023, kurzwelliger Flügel der Kalziumlinie und f) Sonne Ca II H 2. September 2023. Bei allen Bildern ist der Nordpol der Sonne oben. (Bilder: Peter Hirt)

- VirtualDub: Videodateien bearbeiten
- Spectroheliograph Tool von Wa: Synthetisiert Sonnenbild aus den Informationen in den Spektrallinien
- TiltingSun: Positionswinkel der Sonne zu einem Datum ermitteln
- XnView: Bildbearbeitung, rotieren, spiegeln, Kontrast
- Fitswork: Bildbearbeitung, Flat-Bild erstellen
- GIMP: Bildbearbeitung, Bildbeschriftung

Der Bildbearbeitungsprozess ist aufwendig, aber das Ergebnis darf sich sehen lassen im Vergleich zu Bildern der Sonne, welche mit einem Interferenzfilter z. B. H $\alpha$ - oder Ca II K-Filter aufgenommen werden.

Bei meinem Spectroheliografen kann jede Wellenlänge eingestellt werden, und der Durchlassbereich des Lichtes kann eng begrenzt werden. Dies ermöglicht, dass die H $\alpha$ -Linie bei der roten Linienflanke oder bei der blauen beobachtet werden kann. Auf diese Weise lassen sich Dopplergramme errechnen: Man erhält ein Bild der Sonne, das zeigt, welche Oberflächenstrukturen sich auf den Beobachter zubewegen und welche sich von ihm entfernen. Ein weiterer Vorteil des Spectrohe-

liografen ist, dass der Durchlassbereich bei einer Spektrallinie äußerst eng eingestellt werden kann, kleiner als 0,5 Angström. Dies ermöglicht extrem kontrastreiche Bilder, sprich, man sieht auf ein und demselben Bild lichtschwache Protuberanzen am Sonnenrand und gleichzeitig helle Oberflächenstrukturen wie Flares.

Ein weiteres Ziel, das ich in nächster Zeit anstreben möchte, ist die Messung der magnetischen Feldstärke in den Aktivitätsgebieten. Der hochauflösende Spectroheliograf ist in der Lage, dank dem Aufspalten der Spektrallinie (Zeeman-Effekt) in einem Magnetfeld die Feldstärke zu bestimmen.