

## Beobachtung der Sonnenphotosphäre und –chromosphäre in der Schule

in Bezug zum SuW-Beitrag „Das Sonnenteleskop GREGOR - Leistungsfähiges Teleskop auf Teneriffa nimmt seinen Betrieb auf.“ In SuW 7/2012, S. 46 - 53

Olaf Hofschulz

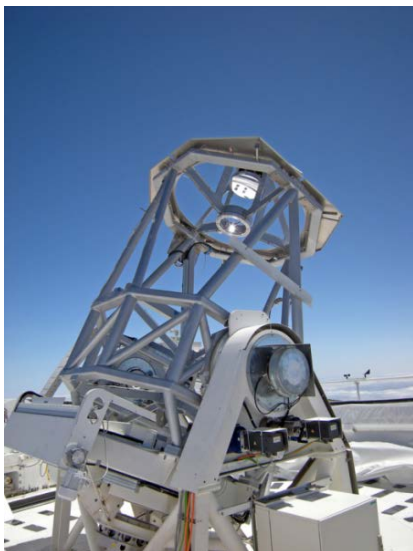
Im vorliegenden Material werden ausgehend von den Möglichkeiten des Sonnenteleskopes GREGOR die praktischen Möglichkeiten der Sonnenbeobachtung in der Schule erläutert. In einer **Handreichung für Lehrer** wird dabei insbesondere das weitreichende Potenzial der H- $\alpha$ - und CaK-Beobachtung verdeutlicht.

Ein **Arbeitsblatt für Schüler** zeigt eine mögliche Nutzung von praktischen Beobachtungsergebnissen für den Unterricht.

Das neue deutsche Sonnenteleskop GREGOR auf Teneriffa eröffnet den Wissenschaftlern faszinierende Einblicke in die Natur der Sonne. Es handelt sich um einen Reflektor in Gregory-Bauweise, in dem ein sekundärer konkaver Spiegel das reflektierte Licht des primären Parabolspiegels durch ein kleines Loch im Primärspiegel auf das Okular bzw. den Detektor lenkt, daher der Name GREGOR. Das in einem Turm untergebrachte Instrument zählt mit seinem Spiegeldurchmesser von 1,5 m zu den drei leistungsfähigsten Sonnentelestokopen weltweit. Verschiedene Detektoren, Filter, Spektrographen und Kameras erlauben insbesondere die Erforschung der Photosphäre und der Chromosphäre der Sonne. So ist die Beobachtung von verschiedenen Erscheinungen der Sonnenaktivität und Phänomenen des Sonnenmagnetfeldes in neuer Qualität möglich. Eine leistungsfähige adaptive Optik, die offene Bauweise, eine aktive Kühlung des Spiegels und natürlich die Wahl des Standortes auf Teneriffa erlauben hochaufgelöste fotografische Aufnahmen, die Erscheinungen bis zu einer Größenordnung von 70 km abbilden.

Auch in der Schule sind visuelle und fotografische Beobachtungen der Sonne möglich. Neben der klassischen Beobachtung der Photosphäre können auch hier moderne Methoden und Instrumente genutzt werden, um auch die dynamischen Erscheinungen in der Chromosphäre zu beobachten.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Sterne, Astropraxis	Sonnenaktivität, Aufbau der Sonne, Astronomische Beobachtungsgeräte und Arbeitsmethoden
Physik	Optik, Quantenphysik	Optische Instrumente und Bauteile zur sicheren Beobachtung der Sonne, Funktionsweise von Filtern, Sonnenspektrum, Absorptionslinien (z.B. Wasserstoffspektrum)
Lehre allgemein	Kompetenzen (Fachwissen und Erkenntnisgewinnung)	(sichere) Methoden zur Sonnenbeobachtung, Protokollieren, Auswertung von Bildmaterial, Abschätzung von Größenordnungen, astronomische Forschungsmethoden



Links: Das Sonnenteleskop GREGOR. (Quelle: SuW)  
Rechts: GREGOR befindet sich in einem turmähnlichen Gebäude unter einer abklappbaren Kuppel in unmittelbarer Nachbarschaft zu anderen Observatorien auf einer Hochebene am Fuße des Teide. (Quelle: SuW)

## Lehrerinfo:

### Beobachtung der Sonnenphotosphäre und -chromosphäre in der Schule

Die praktische Beobachtung spielt bei der Umsetzung astronomischer Inhalte im Unterricht eine entscheidende Rolle. Nur so kann das Beobachten als grundlegende Erkenntnismethode der Astronomie praxisnah vermittelt werden. Dabei kommt der Sonne eine besondere Bedeutung zu.

Einerseits lässt sich eine Sonnenbeobachtung organisatorisch am besten umsetzen, zum Anderen bietet die Sonne thematisch sehr viele Bezüge z.B. zum Physik-, Astronomie-, Erdkunde- und Mathematikunterricht und ist damit ein motivierender Kontext mit großer Reichweite.

Die Möglichkeiten zur Beobachtung der Sonnenphotosphäre und -chromosphäre in der Schule haben sich in den letzten Jahren entscheidend erweitert. Im Folgenden soll eine Übersicht über für die Schule geeignete Methoden gegeben werden. Grundsätzlich sollte jeder praktischen Beobachtung eine entsprechende Belehrung hinsichtlich der Gefahren vorausgehen.

### Beobachtung der Photosphäre

Die klassische Weißlichtsonnenbeobachtung mit Hilfe von Sonnenfiltern oder auch mit der Projektionsmethode stellt das klassische in der Schule etablierte Verfahren dar. Die Ausrüstung dazu ist an vielen Schulen vorhanden und kann gewinnbringend zur Beobachtung von Sonnenflecken, Sonnenfinsternissen, Transiten, aber auch Fackelgebieten genutzt werden.

#### 1. Die Projektionsmethode

Die einfachste und preiswerteste Methode zur Sonnenbeobachtung stellt die Projektionsmethode dar. Vorteil ist die direkte Einbindung vieler Schüler.

Schon mit einer selbstgebauten *Lochkamera* lässt sich ein Sonnenbild projizieren, das sogar eine Bestimmung des Sonnendurchmessers erlaubt. Trotz des kleinen Sonnenbildes können größere Sonnenflecken gesehen werden. Diese Beobachtungsmethode lässt sich prinzipiell schon in der Grundschule umsetzen.

Viele Astronomielehrer nutzen die *Projektionsmethode an einem Teleskop*, da eine größere Gruppe von Schülern die projizierte Sonnenscheibe zugleich sehen kann. Dabei können die typischen Erscheinungen der Photosphäre wie Sonnenflecken, Fackelgebiete und Randverdunklung beobachtet und gezeichnet werden.

Für die Methode sind nur Refraktoren und Okulare mit nicht verkitteten Linsen (Huygens-Okulare) geeignet! Projektionsschirme, die direkt am Teleskop installiert werden können, gibt es im Fachhandel, sie können aber auch selbst hergestellt werden. Im einfachsten Fall reicht aber auch ein Blatt Papier, das hinter das Okular des auf die Sonne ausgerichteten Teleskopes gehalten wird (Achtung – nicht durch das Okular schauen – das Sonnenlicht ist ungefiltert!).

Inzwischen gibt es auch einfache, sehr preiswerte *Sonnenprojektionsteleskope*, die nur für diesen Zweck genutzt werden können (Solarscope, Sonnen-Projektor / AstroMedia). Der Durchmesser der erzeugten Bilder liegt in einem Bereich von 55 mm bis 115 mm. Beide Geräte sind in der Handhabung ungefährlich.

Bei den verschiedenen Verfahren zur Projektion ergeben sich schöne Bezüge zum Physikunterricht (Optik), sie sind sehr gut im Astronomie-Unterricht einzusetzen und können gut im Rahmen eines Projektes umgesetzt werden. So ist auch der Bau eines eigenen Projektionsteleskopes möglich.

## 2. Sonnenbeobachtung mit Objektivfiltern

Die Ausstattung des Teleskopes mit einem Objektivfilter verbessert die Wahrnehmung gegenüber der Projektionsmethode deutlich. Das Sonnenbild ist kontrastreicher und schärfer und der Bereich der möglichen Vergrößerungen wird erweitert. Allerdings kann nur jeweils ein Schüler beobachten. So stehen im Idealfall mehrere Teleskope zur Verfügung oder man arbeitet in Gruppen. Objektivfilter können auch für Spiegelteleskope verwendet werden.

Die preiswerteste Variante stellen *Folienfilter* dar, wobei eine spezielle hochwertige und dünne Folie verwendet wird, die nur 1/100000 des Sonnenlichtes passieren lässt (Astro-Solar Folie / Baader Planetarium). Es gibt eine visuelle und eine fotografische Variante der Folie als DIN A4 Bogen oder auch als fertigen, für das jeweilige Teleskop passenden Filter mit Fassung. Das wahrgenommene Bild der Sonne ist neutral weiß, der Kontrast kann mit zusätzlichen Filtern erhöht werden (Solar Kontinuum Filter / Baader Planetarium). Die Qualität der Folie ist so gut, dass bei entsprechender Öffnung die Granulation auf der Sonnenoberfläche sichtbar wird und hochauflösende Fotos von Sonnenflecken mit entsprechender Technik möglich sind.

Gute Glasfilter sind im Gegensatz dazu sehr teuer, liefern dann aber gerade bei der visuellen Beobachtung ein sehr ästhetisches Bild von der Sonne in warmen Farben (gelb bis orange). Preiswerte Filter aus Glas sind in der Regel nicht so gut wie oben genannte Folienfilter.

Der Nachteil bei der Beobachtung mit einem Objektivfilter besteht neben der Einschränkung auf einen einzelnen Beobachter vor allen Dingen im Sicherheitsaspekt, der Frontfilter kann vergessen werden oder auch herunterfallen, so dass dann akute Gefahr für das Auge besteht. Ein wichtiger Vorteil ist die gute Nutzbarkeit für fotografische Beobachtung.

## 3. Herschelkeil

Ein sehr hochwertiges Gerät zur Sonnenbeobachtung stellt der *Herschelkeil* bzw. das *Herschelprisma* dar, das in der Verbindung mit einem Refraktor genutzt werden kann. Das Sonnenlicht wird hier durch ein nicht verspiegeltes Glasprisma gelenkt, wobei der größte Teil des Lichtes einfach durch das Prisma durchgelassen wird und nur 5 % zum Beobachter kommen.

In Verbindung mit Neutralfiltern ist eine Dämpfung für eine visuelle oder fotografische Beobachtung abstimmbare. Für diese Zwecke liefert ein Herschelprisma eine hochwertige, scharfe und kontrastreiche Abbildung in bester Qualität.

Ein Nachteil ist sicher der relativ hohe Preis. Für ambitionierte Fotografen ist der Herschelkeil in Verbindung mit einem hochwertigen Refraktor die beste Wahl. Im Rahmen der Schule ist der Einsatz in einer Astronomie-AG gut möglich. Auch für die visuelle Beobachtung ist das Prisma gut und sicher einsetzbar. Bei der Erklärung der Funktionsweise sind wiederum schöne Bezüge zur Optik möglich.



Abbildung links: Kleiner Refraktor mit Herschelkeil.  
Abbildung rechts: Teleskop mit Objektivglasfilter.



Abbildung: Venustransit am 06.06.2012. Refraktor William 72 FD mit Baader Herschelkeil und Solar Kontinuum Filter, The Imaging Source DMK 41 SW CCD Kamera.

## Beobachtung der Chromosphäre

Problematisch an der Beobachtung der Chromosphäre ist, dass die darunter befindliche Photosphäre um viele Größenordnungen heller strahlt und so eine direkte Beobachtung verhindert. Deshalb ist der Einsatz hochwertiger Filter eine grundlegende Voraussetzung.

In den letzten Jahren haben nun in der Amateurastronomie immer mehr Methoden Einzug gehalten, die eine Beobachtung der Sonnenchromosphäre erlauben. Inzwischen gibt es verschiedene, relativ preiswerte Filter und Teleskope, die die beiden gängigsten Fenster zur Chromosphäre öffnen, die H-Alpha-Linie der Balmer-Serie des Wasserstoffs und die CaK-Linien.

### 4. H-Alpha-Sonnenbeobachtung

Beobachtet man die Chromosphäre im Lichte der roten H-Alpha Linie bei 656,28 Nanometern, so schaut man in eine Schicht, die nur ca. 900 Kilometer über der Photosphäre liegt, und dennoch ein ganz anderes Bild der Sonne zeigt: Protuberanzen, Filamente, Spikulen, Flares, koronale Massenauswürfe – die Sonne zeigt sich dem Beobachter aktiv und dynamisch.

So handelt es sich bei den Filamenten z.B. um relativ kühle, dichte Plasmafasern, die sich entlang von Magnetfeldlinien ausbilden können. Sie erscheinen als dunkle Strukturen vor der Sonnenscheibe, am Rand vor dem dunklen Hintergrund sind sie hingegen hell sichtbar und werden dort als Protuberanzen bezeichnet. Dieser Bereich der Sonnenbeobachtung ist für viele Beobachter derjenige mit der größten Faszination.

Vollständige *H-Alpha-Teleskope* sind inzwischen erschwinglich geworden. Das Coronado PST (Personal Solar Telescope) und das Lunt LS 35 stellen einen idealen Einstieg dar (ab ca. 800,-). Beide Geräte liefern eine kontrastreiche Abbildung und zeigen Protuberanzen und Oberflächenstrukturen. Durch den integrierten Filter sind diese Teleskope wirklich nur für die H-Alpha-Beobachtung geeignet und sie sind ungefährlich im Umgang. Teleskope mit mehr Öffnung oder separat erhältliche *Filtersysteme* werden von diversen Herstellern angeboten.

Für die Schule ist ein kleines H-Alpha-Teleskop derart flexibel einsetzbar, dass man ihm ein sehr gutes Preis-Leistungsverhältnis bescheinigen kann und es in keiner Sammlung fehlen sollte.

**Einsatzmöglichkeiten in der Schule sind z.B.:**

- Atomphysik / Wasserstoffspektrum (Jg. 12 bzw. 13)
- Optik / Interferenzphänomene (Jg. 12 bzw. 13, evtl. auch 10)
- Astronomie, Aufbau der Sonne
- „Schulhofteleskop“
- physikalisch  
Sinnvolle Vertretungsstunde
- Astronomie AG

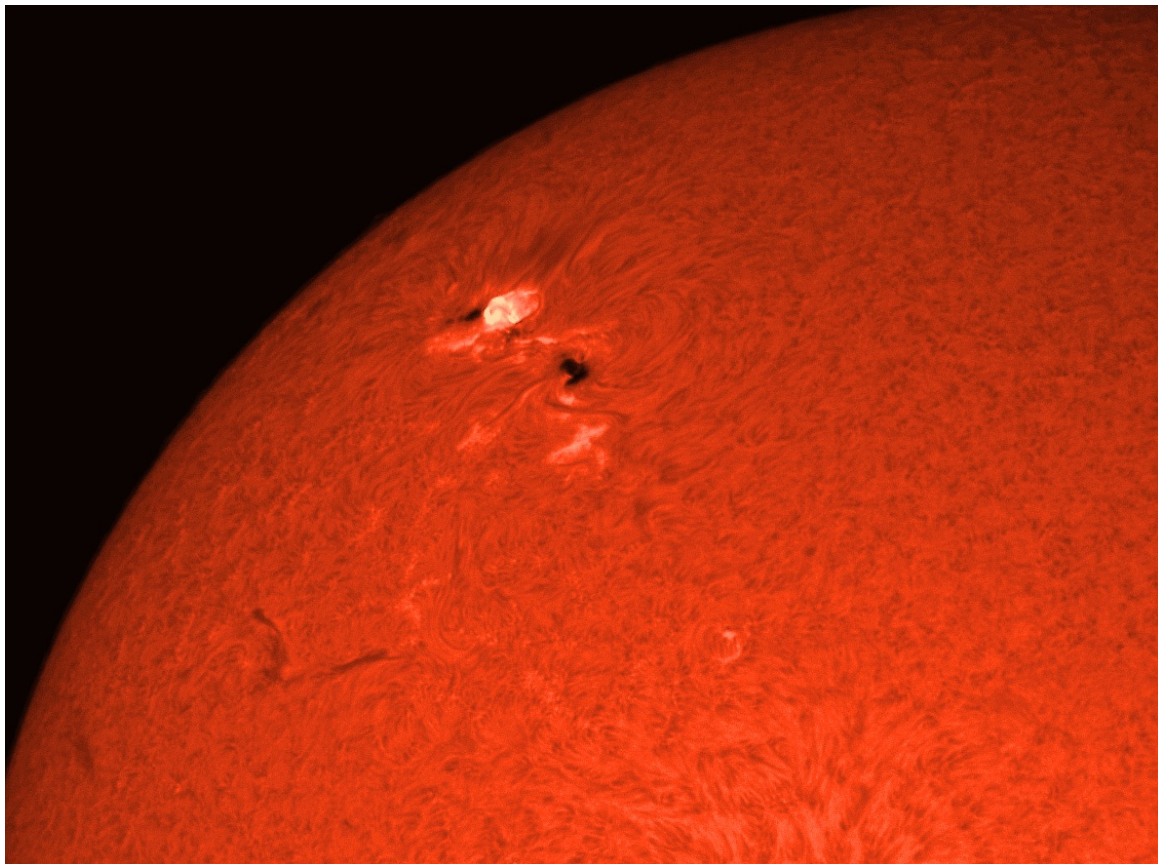
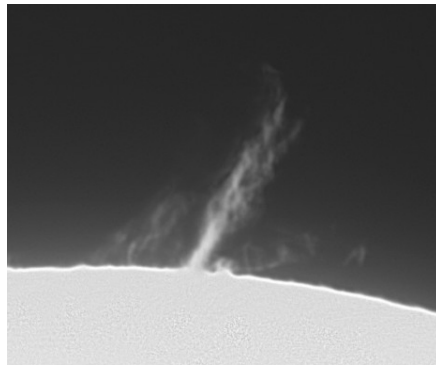


Abbildung oben links: Protuberanz am Sonnenrand. Abbildung oben rechts: Coronado PST Sonnentelскоп. Abbildung unten: H-Alpha-Sonne mit Flare am 24.09.2011. Lunt LS 60 BF 1200 H-Alpha-Teleskop, The Imaging Source DMK 41 SW CCD Kamera.

## 5. CaK-Sonnenbeobachtung

(H- und K-Linie von CaII bei 393 nm und 396 nm)

Bei der CaK-Beobachtung wird ein unterer Bereich der Chromosphäre, ca. 500 km über der Photosphäre sichtbar, in dem man Fackelgebiete über die gesamte Sonne verteilt beobachten kann. Im Licht der H- und K-Linien sieht man das chromosphärische Netzwerk aus Supergranulationszellen mit rund 30000 km Durchmesser, an deren Rändern sich starke Magnetfelder befinden. Dabei handelt es sich um ausgedehnte Gebiete in der Umgebung von Sonnenflecken, die eine überhöhte Helligkeit (etwa 10 % heller als in der Photosphäre) aufweisen.

Auch für diesen Bereich gibt es *fertige kleine Teleskope mit integriertem Filter* (Coronado CaK PST – wird leider nicht mehr hergestellt, Lunt LS 60TCaK) oder *separate Filter*, die an einen vorhandenen Refraktor adaptiert werden können (Lunt Kalzium Modul). Der Einstiegspreis liegt bei ca. 1000,-. Der von Baader Planetarium angebotene K-Line-Filter ist nicht schmalbandig genug für eine Beobachtung der Chromosphäre, aber gut zur Kontrasterhöhung in Verbindung mit einem Herschelprisma oder Folienfilter bei Weißlichtaufnahmen geeignet.

Die CaK-Filter und -Teleskope sind nicht für die visuelle Beobachtung geeignet, da viele Beobachter in diesem Bereich bestenfalls einen tiefblauen „Ball“ wahrnehmen, allerdings ergeben sich für die fotografische Beobachtung faszinierende Möglichkeiten.

### Einsatzmöglichkeiten in der Schule sind z.B.:

- Atomphysik, Spektren (Jg. 12 bzw. 13)
- Optik / Interferenzphänomene (Jg. 12 bzw. 13, evtl. auch 10)
- Astronomie, Aufbau der Sonne
- Astronomie AG / Projekt

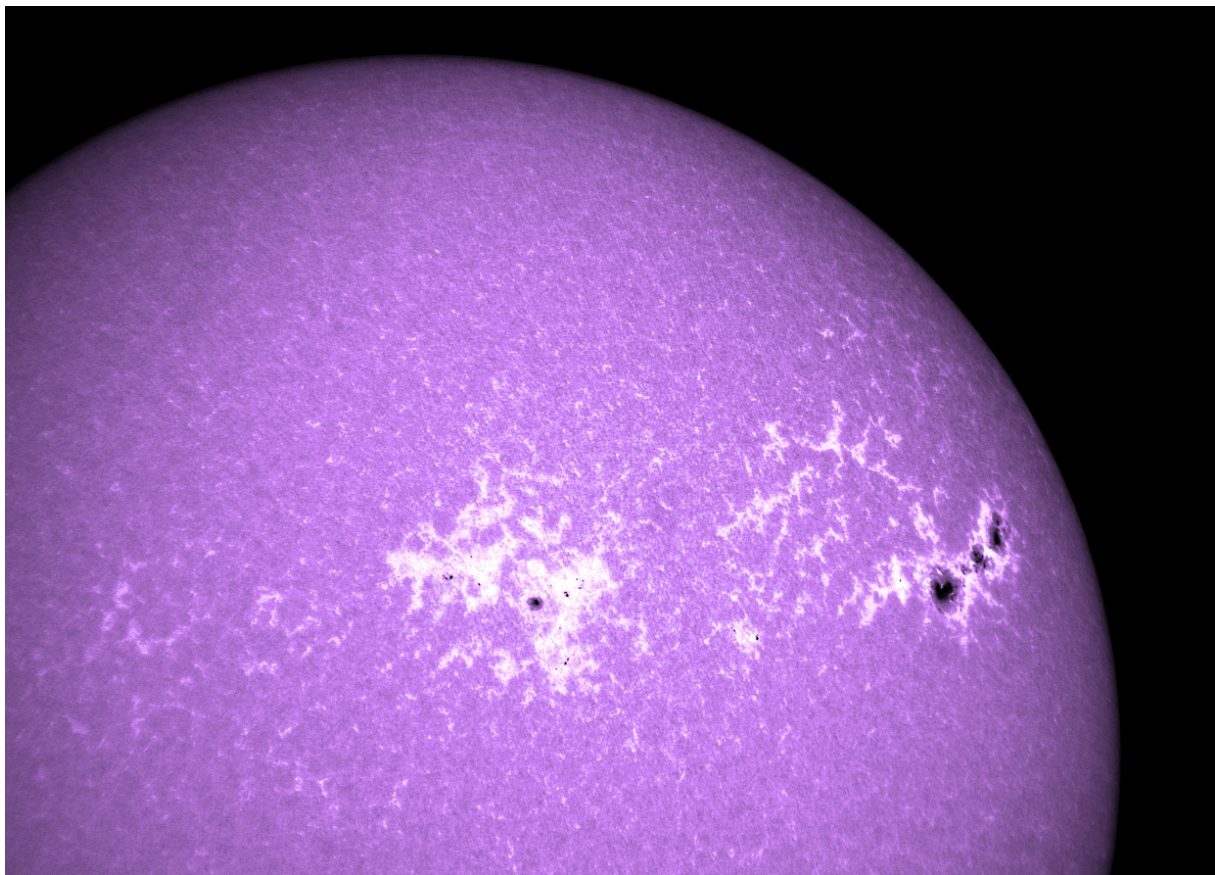
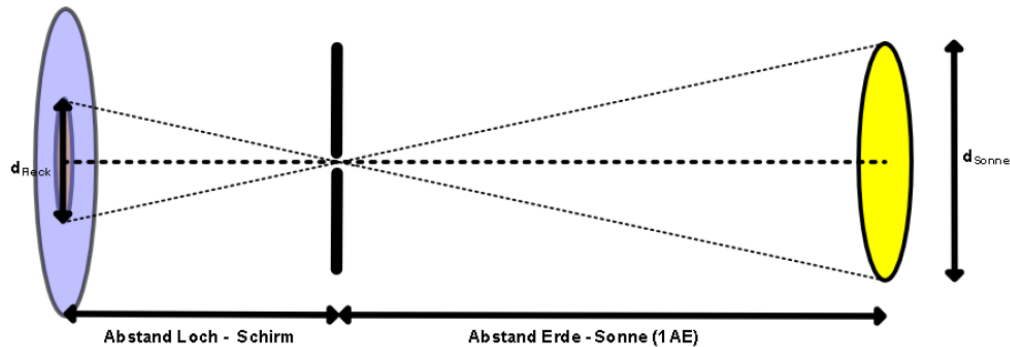


Abbildung: Sonne am 24.09.2011. Refraktor Astro Professional 102/714 ED mit Lunt Kalzium Ansatz, The Imaging Source DMK 41 SW CCD Kamera.

## Arbeitsblatt: Auswertung praktischer Sonnenbeobachtungen

### Aufgaben:

1. Mit einer Lochkamera soll der Abstand der Sonne ermittelt werden. Richtet dazu die Lochkamera zur Sonne aus und ermittelt den Durchmesser des auf dem Schirm projizierten Sonnenscheibchens.



Formuliert ausgehend von der in der Skizze gegebenen Strahlensatzfigur einen Lösungsansatz (Der Abstand Erde – Sonne beträgt 149,6 Millionen km = 1 AE.). Ermittelt den Sonnendurchmesser und vergleicht den Wert mit dem Tabellenwert.

2. Die Abbildung 1 zeigt den Venustransit am 06. 06. 2012.
  - a) Erklärt das Zustandekommen eines solchen Transits.
  - b) Warum finden derartige Ereignisse so selten statt?
  - c) Wie viel Prozent der Sonnenfläche werden durch die Venus abgedeckt? Welche Methode zum Nachweis von extrasolaren Planeten lässt sich damit begründen?
3. Neben der Venus sind alle an diesem Tag im benutzten Teleskop sichtbaren Sonnenflecken auf der Aufnahme zu finden (im nicht abgebildeten Teil der Sonne befanden sich keine Flecken).
  - a) Schätzt die Gesamtoberfläche ab, die von Sonnenflecken an diesem Tag eingenommen wurde.
  - b) Bestimmt die Sonnenfleckenrelativzahl nach *Wolf*.
4. Abbildung 2 zeigt die gleiche Situation im H-Alpha-Licht. Fertigt eine Zeichnung der zentralen Fleckengruppe an, in der ihr die Informationen aus beiden Abbildungen kombiniert. Erläutert das Wesen der sichtbaren Erscheinungen.

## Material zum Arbeitsblatt:



Abbildung 1: Venustransit am 06. 06. 2012. Refraktor William 72 FD mit Baader Herschelkeil und Solar Kontinuum Filter, The Imaging Source DMK 41 SW CCD Kamera.

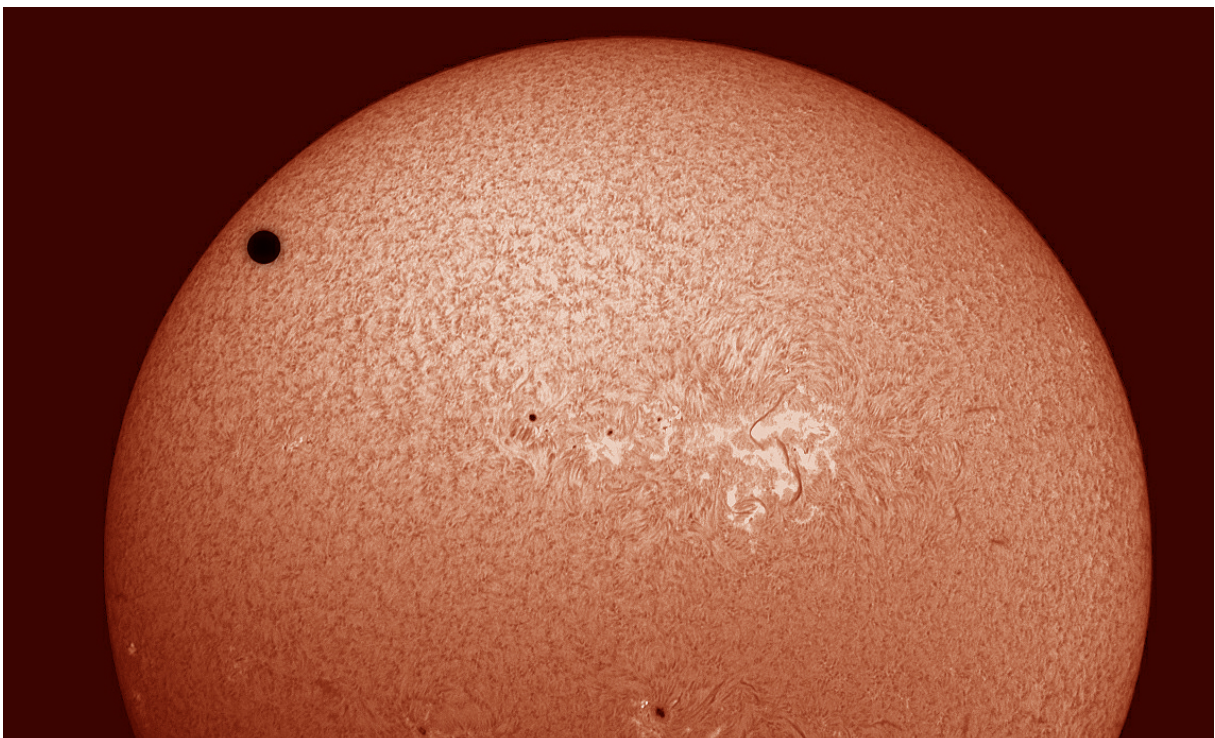


Abbildung 2: Venustransit am 06. 06. 2012. Lunt LS 60 BF 1200 H-Alpha-Teleskop, The Imaging Source DMK 41 SW CCD Kamera.



## Lösungen und Hinweise

### Lösungen der Aufgaben:

#### Zu 1.)

Ansatz über Strahlensatz. Das Ergebnis kommt dem Tabellenwert bei guter Messung erstaunlich nahe! Ein Beispiel für eine Lochkamera findet sich in der untenstehenden Abbildung:

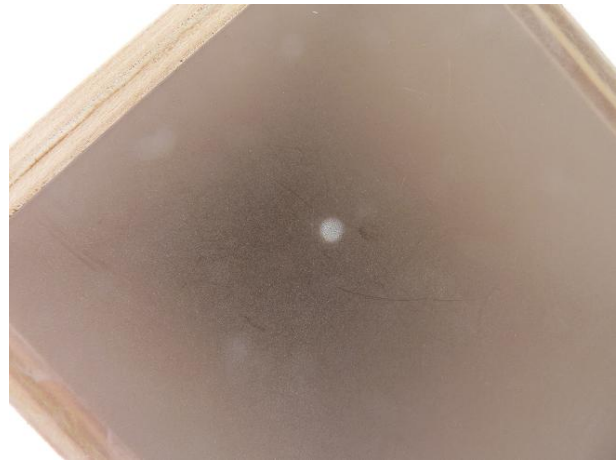


Abbildung links: Lochkamera - Selbstbau  
Abbildung rechts: Sonnenbild auf dem transparenten Schirm

#### Zu 2.)

- Erklären des Zustandekommens über die Positionen von Erde-Venus-Sonne.
- Erläuterung der Bahngeometrie: Bahnneigung und Bahnknoten.
- Zunächst wird der Durchmesser der Venus über eine Verhältnisgleichung ermittelt (Sonnendurchmesser wird als bekannt vorausgesetzt), danach der Flächeninhalt bestimmt, und schließlich mit dem Flächeninhalt des Sonnenbildes verglichen. Das Prinzip der Transitmethode wird erklärt.

#### Zu 3.)

- Zunächst wird der Durchmesser einzelner Flecken über eine Verhältnisgleichung berechnet (Sonnendurchmesser wird als bekannt vorausgesetzt). Die Flecken werden näherungsweise als kreisförmig betrachtet, so dass der Flächeninhalt der einzelnen Flecken und die Gesamtfläche näherungsweise bestimmt werden können.
- $R = 10g + f$   
Fleckengruppenanzahl  $g = 6$   
Einzelfleckenanzahl  $f = 42$   
 $R = 102$   
(Abweichungen je nach Beobachtererfahrung und Druckqualität möglich!)

#### Zu 4.)

- Zeichnung
- Erscheinungen: Sonnenflecken mit Umbra / Penumbra, Flares, Aktivitätsgebiet als Netzwerk in der Umgebung der Fleckengruppen (inkl. kurzer Charakteristik)