

INTERAKTIV



Werden Sie Follower des neuen interstellarum Twitter-Dienstes! Die gesamte Redaktion informiert Sie täglich über Neuigkeiten aus der (Amateur-)Astronomie.

www.twitter.com/interstellarum



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

die Sonne, unser Stern, ist vielleicht das faszinierendste astronomische Beobachtungsobjekt. Ein großer Reichtum an beobachtbaren Details, ein täglich verändertes Gesicht und minütlich zu verfolgende Bewegungen sind die Zutaten für besondere Beobachtungserlebnisse. Amateurastronomen haben hier zudem die Chance, selbst mit Langzeitstudien zur wissenschaftlichen Erforschung beizutragen – mehr als genug Gründe, endlich auch ein Themenheft von interstellarum unserem Tagesgestirn zu widmen!

Der Zeitpunkt dafür ist mit Bedacht gewählt: Derzeit befindet sich die Sonne nahe des Maximums ihres elfjährigen Aktivitätszyklus. Die komplizierten physikalischen Prozesse, die zur Ausprägung der Sonnenaktivität führen und ihre Auswirkungen auf die Erde untersucht Ulrich von Kusserow in unserer Titelgeschichte (Seite 8). Nico Schmidt beschreibt die Geschichte der Entschleierung unseres Sterns von den Anfängen steinzeitlicher Observatorien bis zu den Weltraumobservatorien der Gegenwart (Seite 16).

Dass das aktuelle Maximum der Sonnenaktivität so niedrig ausfällt wie seit fast einem Jahrhundert nicht mehr, tut der Attraktivität des Beobachtungsziels keinen Abbruch. Im Gegenteil: Dank moderner Filtertechnologie und immer preiswerter werdender Filter ist es heute so einfach und so kostengünstig wie nie zuvor, die Sonne zu beobachten. Dieses Heft gibt dazu zahlreiche Anregungen: Vom Einstieg in die Sonnenbeobachtung (Seite 26) bis zum semiprofessionellen Sonnenobservatorium (Seite 54), von der Zeichnung (Seite 38) bis zur hoch auflösenden Fotografie (Seite 46). Daneben finden Sie Praxistipps zur Bildbearbeitung von Sonnenfotos (Seite 60, 64) und zur Anschaffung von Sonnen-Apps für Ihr Smartphone (Seite 68).

Aufgrund des anhaltend schlechten Wetters im Winterhalbjahr entfallen muss leider der für dieses Heft geplante umfangreiche Test von mehr als einem Dutzend Filtersystemen und Sonnentelaskopen für die Beobachtung von Protuberanzen, Flares und Co. im roten H-alpha-Licht. Wir werden Ihnen diesen in seiner Breite weltweit einmaligen Produktvergleich im Themenheft Teleskope 2013 nachreichen!

Sonnige Stunden wünscht

Ronald Stoyan

Im Bann der Sonne

Der Einfluss der Sonnenaktivität auf die Erde

Hintergrund

8 Im Bann der Sonne

Der Einfluss der Sonnenaktivität auf die Erde

16 Die Entdeckung unseres Sterns

Vom Sonnengott zum Sonnenneutrino

Praxis

26 Die Sonne im Teleskop

Richtig einsteigen in die Sonnenbeobachtung und -fotografie

32 Flecken und Fackeln

Eine Anleitung zur Sonnenbeobachtung im Weißlicht

38 Good Day Sunshine

Sonnenbeobachtung mit Bleistift und Papier

Technik

46 Sonnenrand im Fokus

Die Beobachtung und Fotografie randnaher Phänomene

54 Ein Turm für die Sonne

Das Robotic Solar Observation Telescope

60 Protuberanzen im Fokus

Tipps und Tricks für Sonnenfotografen

64 Mehr als nur rote Sonne

Aufnahme und Bildbearbeitung von H α -Sonnenaufnahmen

interstellarium sternstunde



Ausgabe 14 vom 8.3.2013:

- **Komet PANSTARRS:** Interview mit Daniel Fischer
- **interstellarium packt aus:** 100°-Okulare von Meade

www.interstellarium.de/video.asp

interstellarium himmelskalender

Ausgabe 1 vom 8.3.2013

Einzelpaket 1,79€

Jahresabo 8,99€

Für Heft-Abonnenten kostenlos!

www.interstellarium.de/app-himmelskalender.asp



16

Die Entdeckung unseres Sterns



46

Sonnenrand im Fokus

Die Beobachtung und Fotografie randnaher Phänomene



26

Die Sonne im Teleskop



32

Flecken und Fackeln



54

Ein Turm für die Sonne

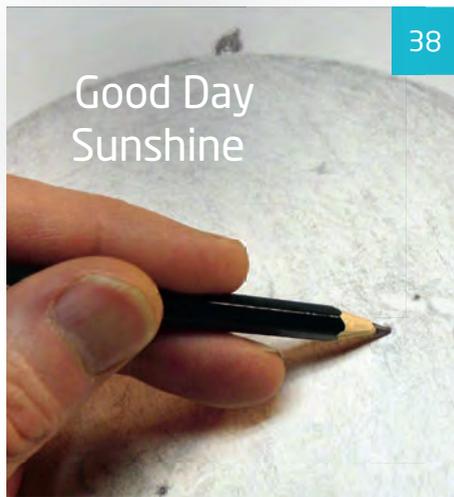
Szene

68 Die Sonne auf dem Handy

iOS- und Android-Apps für Sonnenbeobachter

Astro-Markt

73 Gewerbliche Anzeigen



38

Good Day Sunshine



60

Protuberanzen im Fokus

interstellarium Newsletter kostenlos!	
Nummer	Erscheinungsdatum
186	19.4.2013
187	3.5.2013
188	17.5.2013
189	29.5.2013
190	14.6.2013

www.interstellarium.de/newsletter.asp



68

Die Sonne auf dem Handy



54

Mehr als nur rote Sonne

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt.

Im Bann der Sonne

Der Einfluss der Sonnenaktivität auf die Erde

von Ulrich v. Kusserow

Die Sonne ist »der Stern, von dem wir leben« [1], dessen Geheimnissen die aktuelle astrophysikalische Forschung mehr denn je auf der Spur ist. Die periodisch schwankende Sonnenaktivität bestimmt das Weltraumwetter in der Heliosphäre und nimmt Einfluss auf Vorgänge in der Erdatmosphäre. Wie diese physikalischen Systeme miteinander wechselwirken, lässt sich heute zunehmend besser erforschen. Umstritten bleibt der Einfluss der Sonne auf das Erdklima – ein im Zusammenhang mit der aktuellen Erderwärmung heiß diskutiertes Thema.

Die Heliophysik ist ein Teilbereich der modernen astrophysikalischen Forschung, der sich nicht nur mit der Physik der Sonne allein beschäftigt. Heute wird in diesem Wissenschaftsbereich verstärkt auch der Einfluss solarer Prozesse auf die Atmosphären und Magnetosphären unterschiedlicher Himmelsobjekte in unserem Sonnensystem untersucht. Plasma-physikalische magnetische Prozesse spielen dabei im elektrisch geladenen Medium, im Innern der Sonne, in ihrer Atmosphäre bis hinaus in die Sonnenkorona sowie in der die Sonne umgebenden Heliosphäre eine zentrale Rolle.

Der von unserem Heimatstern mehr oder weniger stetig ausgehende Sonnenwind sowie die Auswirkungen solarer Eruptionen beeinflussen wesentliche Prozesse in den Atmosphären und Magnetosphären der Planeten, Monde und Kometen. Zugrunde liegende physikalische Prozesse bestimmen das sogenannte Weltraumwetter, das aufgrund der systematisch in periodischer Weise schwankenden Sonnenaktivität sehr variabel ausfallen kann. Es stellt sich insbesondere die Frage, wie stark dadurch auch Prozesse im Lebensraum von uns Menschen bestimmt werden können.

Indikatoren der Sonnenaktivität

Die Stärke der Sonnenaktivität und ihrer Variation lässt sich nicht nur anhand der veränderten Intensität und Verteilung der von der Sonne ausgesandten elektromagnetischen Strahlung im Radio- und Infrarotbereich, im sichtbaren Spektrum bis zur hochenergetischen UV-, Röntgen- oder Gammastrahlung ermitteln. Vor allem auch die Häufigkeit des Auftretens sowie der

◀ **Abb. 1: Flares sind besonders beeindruckende Zeichen der wechselnden Aktivität unseres Sterns:** In diesen kurzzeitig auftretenden Strahlungsausbrüchen werden gigantische Mengen an Energie freigesetzt, die über Koronale Massenauswürfe auch die Erde erreichen können. Das Bild zeigt einen Flare am 22.1.2012.

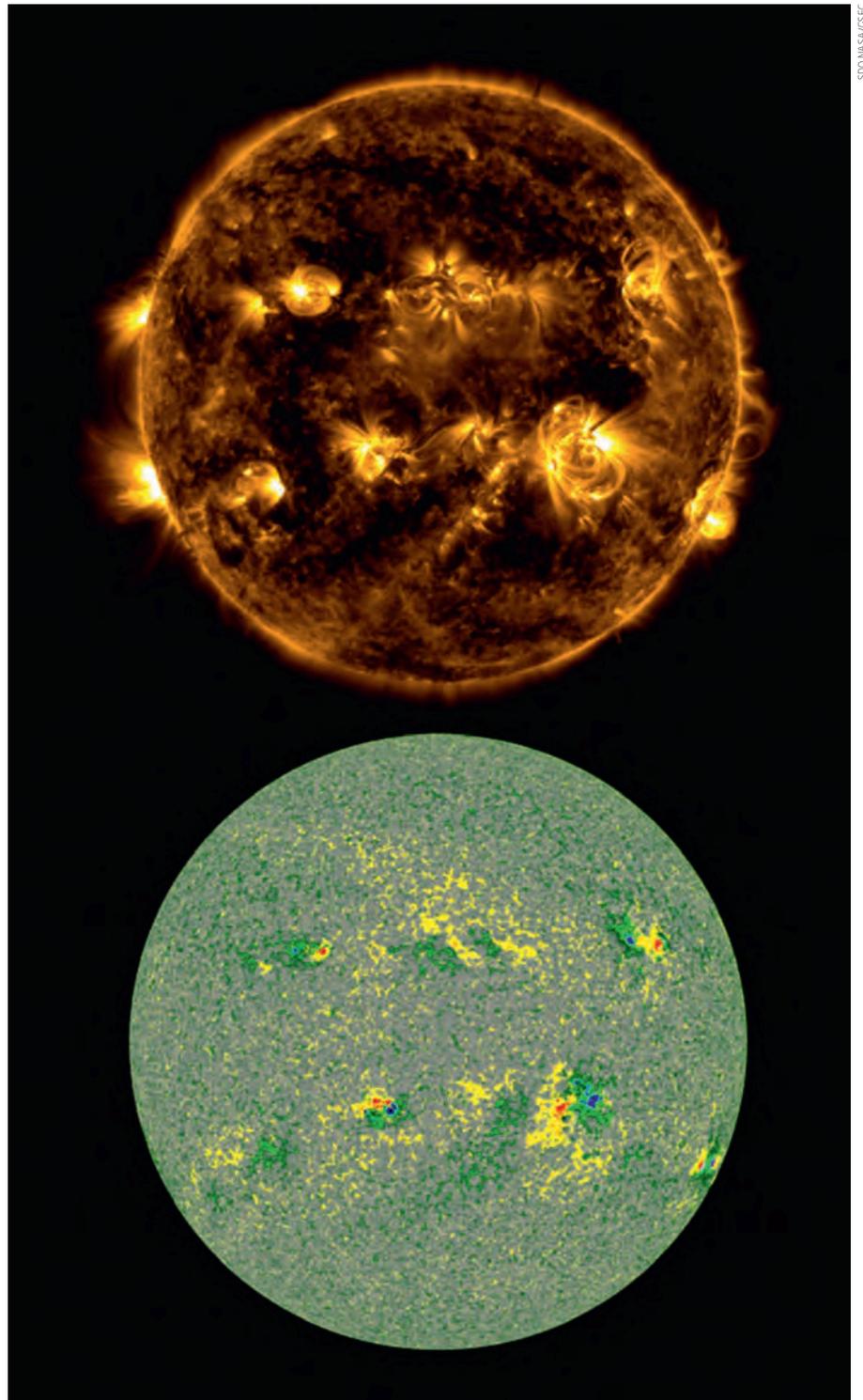
▶ **Abb. 2: Solare magnetische Feldstrukturen** oberhalb der parallel zum Äquator der Sonne verlaufenden Aktivitätsgebiete sind in Aufnahmen im UV-Licht häufig als bogenförmig geschlossen zu erkennen (oben). Farbcodierte Magnetogramme (unten) veranschaulichen die Verteilung der magnetischen Polaritäten auf der Sonnenoberfläche (Nordpolarität grün/blau, Südpolarität gelb/rot).

speziellen Lage der in der Sonnenatmosphäre mit bodengestützten Teleskopen oder von Satelliten aus zu beobachtenden Aktivitätsgebiete, Sonnenfleckengruppen, Flares und Koronalen Massenauswürfe geben darüber eindeutig Auskunft (vgl. Kasten).

Darüber hinaus bestimmen die Stärke, Zusammensetzung und Geschwindigkeit des Sonnenwindes sowie die von der Sonne ausgehende hochenergetische Teilchenstrahlung das Ausmaß des davon abhängenden messbaren Einstroms kosmischer Strahlung. Diese noch höher energetischen und lebensbedrohenden Partikel werden

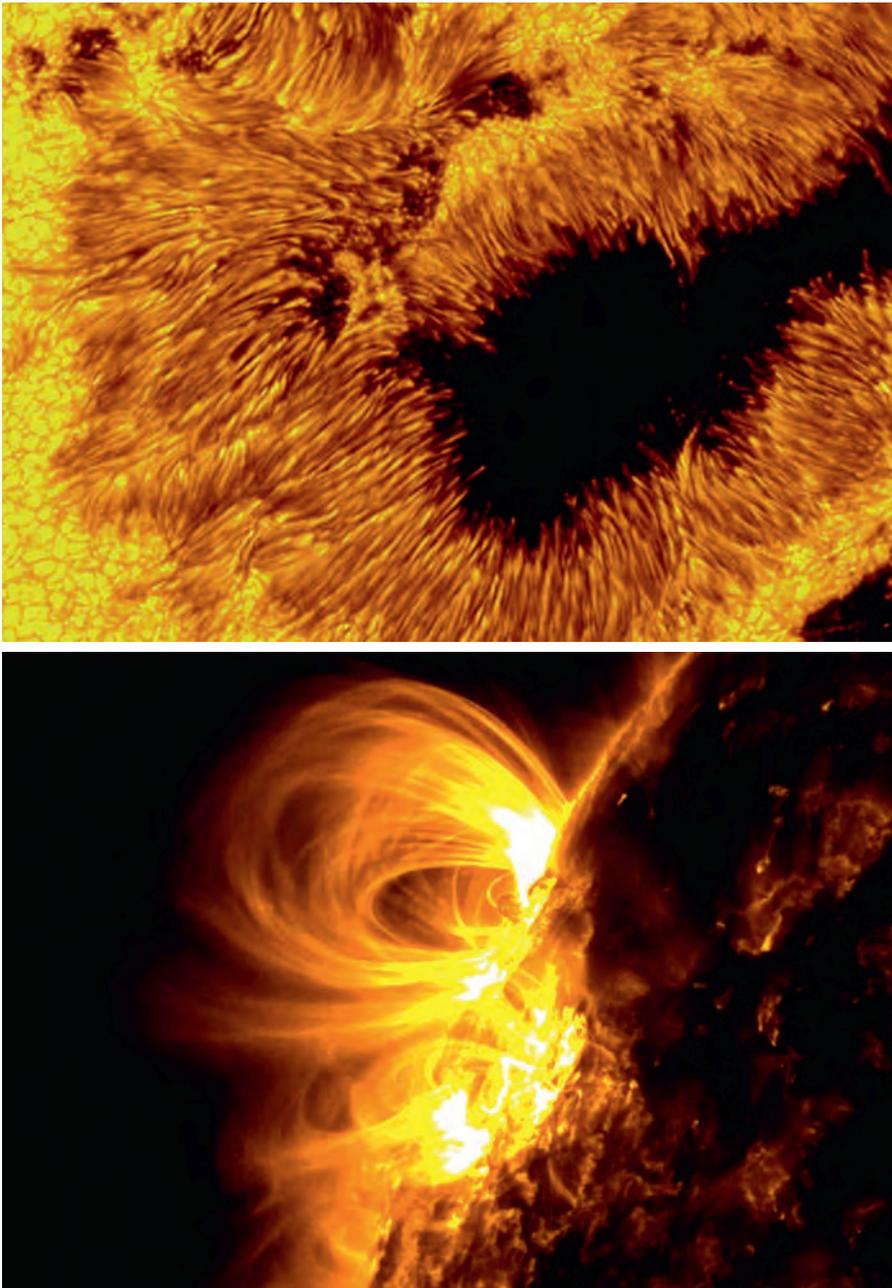
in Supernova-Explosionen, Gammastrahlen-Ausbrüchen, bei Galaxienkollisionen oder in aktiven Galaxienkernen beschleunigt.

Schließlich zeugen starke Schwankungen des interplanetaren Magnetfeldes, Kometenschweifabbrüche, magnetische Stürme in den Magnetosphären der Planeten sowie das Auftreten von Polarlichtern stets von einer deutlichen Zunahme der Sonnenaktivität. In der aktuellen Klimadiskussion wird darüber gestritten, ob nicht auch die aktuell bedrohlich erscheinende Klimaveränderung als möglicher Indikator für eine veränderte Sonnenaktivität in Frage kommt [3].



SDO/NASA/GSFC

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



◀ Abb. 3: Sonnenflecken mit ihrer zentralen dunklen Umbra sowie der filamentartig strukturierten, abwechselnd hell und dunkel erscheinenden Penumbra kennzeichnen kühlere Gebiete der Sonnenoberfläche (oben), die von starken, aus dem Sonneninneren aufsteigenden Magnetfeldern durchstoßen werden, oberhalb derer sich die magnetischen Feldstrukturen bogenförmig bis in die Korona ausbreiten (unten).

ist, zeigt sich auch im Zusammenhang mit dem sich in periodischer Weise verändernden Auftreten der Flares, der als Protuberanzen bezeichneten riesigen Gaswolken sowie an den Koronalen Massenauswürfen. In Zeiten starker Sonnenaktivität werden in der Regel stärkere und sogar mehrere Flares oder eruptive Protuberanzen und Koronale Massenauswürfe pro Tag registriert. Im Minimum der Sonnenaktivität kann man solche spektakulären Ereignisse im Mittel ungefähr nur einmal in der Woche beobachten.

Die gewaltige Mengen an magnetischer Energie freisetzenden Flares heizen das Plasma lokal auf mehrere Millionen Grad Celsius auf. Sie können Teilchen wie Elektronen, Protonen und schwerere Ionen bis nahe an die Lichtgeschwindigkeit beschleunigen. Sie produzieren elektromagnetische Strahlung aller Wellenlängen vom Radiobereich bis zur Gammastrahlung. Die UV- und die Röntgenstrahlung können zum Aktivitätsmaximum hin um einige Prozentpunkte beziehungsweise sogar um einige zehn Prozentpunkte ansteigen. Die Radiostrahlung der Sonne bei 10,7cm Wellenlänge korreliert stark mit der Fleckenrelativzahl.

Vom Flare zum Sonnenwind

Häufig im Zusammenspiel mit Flares werden lokale Protuberanzen-Eruptionen beziehungsweise folgenschwerere Koronale Massenauswürfe ausgelöst. Durch magnetische Rekonnexion wird hierbei die Topologie der Magnetfeldstrukturen plötzlich und in dramatischer Weise verändert: In Plasmamaterie »eingefrorene« magnetische Feldstrukturen werden in den interplanetaren Raum, in die Heliosphäre der Sonne hinausgestoßen. In Wechselwirkung mit den in Zeiten hoher magnetischer Aktivität ebenfalls besonders starken Sonnenwindkomponenten werden insbesondere auch die in Richtung Erde strömenden Teilchen und Plasmawolken beschleunigt.

Die Abgrenzung der Heliosphäre gegenüber dem umgebenden interstellaren Medium erfolgt vor allem auch durch den Einfluss

Stabile Solarkonstante

Die langjährig gemittelte Intensität der über alle Wellenlängen des elektromagnetischen Spektrums summierten extraterrestrischen Sonnenbestrahlungsstärke beträgt zurzeit etwa 1367 Watt pro m². Diese Messgröße wird als Solarkonstante bezeichnet. Ihre Variation betrug im Verlaufe der letzten drei Sonnenfleckenzyklen vom Sonnenflecken-Maximum zum Minimum maximal etwa 0,1% – viel zu wenig, um so direkt einen wesentlichen Einfluss auf das Erdklima zu nehmen.

Überraschenderweise steigt die Solarkonstante aber in Zeiten der Fleckenmaxima. Viele große und dunkle Sonnenfleckengruppen sollten eigentlich eine deutliche Verringerung der Sonnenleuchtkraft bewirken. Diese im Vergleich zur wärmeren Umgebung (5700°C) kühleren Gebiete (4000°C – 5500°C)

erscheinen dunkel, weil hier aus dem Sonneninneren austretende starke magnetische Feldstrukturen den Aufstieg heißer Materie behindern. In Zeiten starker magnetischer Aktivität wird die Sonnenoberfläche andererseits aber auch von besonders vielen dünnen magnetischen Flussröhren durchstoßen, durch die der Blick in tiefer liegende heißere Schichten ermöglicht wird. Die aus solchen hellen Punkten zusammengesetzten Fackelgebiete bewirken so insgesamt eine, wenn auch geringe Verstärkung der Gesamtleuchtkraft der Sonne in Zeiten starker magnetischer Aktivität.

Magnetfelder entscheiden

Dass der Einfluss der im Laufe der Sonnenzyklen stark variierenden solaren Magnetfelder wesentlich und letztlich entscheidend für die Schwankungen der Sonnenaktivität

magnetischer Feldstrukturen im Sonnenwind. Im turbulenten Medium der zwischen der Heliopause und dem »termination shock« lokalisierten Sonnenumhüllung werden die Teilchen der ins Sonnensystem eindringenden hochenergetischen kosmischen Strahlung je nach Stärke der Sonnenaktivität unterschiedlich effektiv abgebremst.

Erdatmosphäre unter Beschuss

Sonnenstürme mit erhöhter UV-, Röntgen- und Teilchenstrahlung erhitzen die sich dadurch ausdehnenden äußeren Atmosphärenschichten der Erde. Sie nehmen wesentlichen Einfluss auf die Zusammensetzung und Schutzfunktion der Ozonschicht. Magnetische Rekonnexionsprozesse beim Auftreffen des interplanetaren Magnetfeldes auf die Magnetosphäre der Erde bewirken starke Umformungen der Topologien erdmagnetischer Feldstrukturen. Dies löst magnetische Stürme auch im nachseitigen Magnetosphärenschweif der Erde aus. Damit einhergehende Polarlichterscheinungen können dann teilweise sogar in relativ niedrigen geographischen Breiten beobachtet werden.

Erhöhter Energieeintrag in Zeiten starker Sonnenaktivität insbesondere in den Äquatorbereich der Erde führt zur Ausbildung stärkerer Druckgradienten in Polrichtung, wodurch Windverhältnisse verändert werden. Die Stärke der Sonnenaktivität beeinflusst die Abmessungen der als Hadley-Zellen bezeichneten Zirkulationsformen der Luftmassen innerhalb der Troposphäre zwischen dem Subtropischen Hochdruckgürtel und dem Äquator. Die langfristige Wetterverhältnisse bestimmenden Jetstream-Starkwindbänder in Bereichen zwischen der oberen Troposphäre und der Stratosphäre können sich dadurch wesentlich verändern. Der Einfluss der Sonnenaktivität auf das Klima beeinflussende charakteristische Meeresströmungen wird diskutiert.

Der Sonnendynamo treibt an

Magnetische Prozesse im Innern und in der Atmosphäre der Sonne bestimmen die Entwicklung der Sonnenaktivität. Um sie besser zu verstehen, sie auch im Zusammenhang mit der Entwicklung der Lebensbedingungen auf der Erde möglicherweise

► Abb. 4: Die Heliosphäre bezeichnet den die Sonne umgebenden interplanetaren Bereich, in dem der magnetisierte Sonnenwind wirksam ist und sich gegen das anströmende Medium des interstellaren Raums durchsetzen kann.

BASISWISSEN

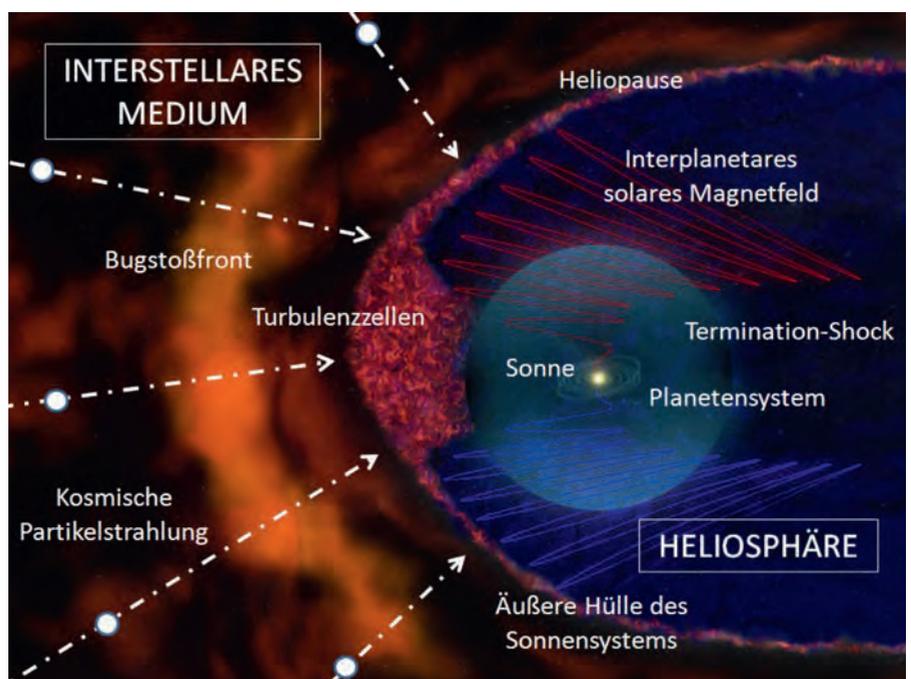
Kennzeichen der Sonnenaktivität

Im Rhythmus des etwa 11-jährigen solaren Aktivitätszyklus schwankt die Häufigkeit und Erscheinungsform der auf der Sonnenoberfläche zu beobachtenden Erscheinungen. Ihr Auftreten dient daher als Kennzeichen für den Grad der Sonnenaktivität.

- **Sonnenflecken:** Dunkel erscheinende, vom Durchmesser teilweise mehr als erdgroße bipolare Gebiete, in denen großskalige und starke solare Magnetfeldschläuche seeschlangengleich in zwei benachbarten Bereichen die Sonnenoberfläche durchstoßen. Die Feldstrukturen behindern hier den Einstrom heißer Materie aus dem Sonneninneren. Dies bewirkt eine deutliche Temperaturabnahme im Fleckengebiet.
- **Fackeln:** Hell erscheinende, wärmere Stellen in der Umgebung solarer Aktivitätsgebiete, in denen durch dünne magnetische Flussröhren hindurch der Blick in tiefer liegende heiße Gebiete möglich ist.
- **Flares:** Grelle, vor allem im kurzwelligen Bereich der elektromagnetischen Strahlung auftretende Leuchterscheinungen, die bei der Freisetzung gewaltiger Mengen gespeicherter magnetischer Energie erzeugt werden. Flares bewirken die Aufheizung der

umgebenden Materie, die Beschleunigung hochenergetischer Teilchen sowie gebündelter Materieströme.

- **Protuberanzen:** Mit - im Gegensatz zur umgebenden heißen Sonnenatmosphäre - kühlerem Plasma gefüllte großräumige solare Gaswolken. Wie in einer Hängematte sammelt sich und strömt die elektrisch geladene Materie in komplex strukturierten, aufragenden magnetischen Feldstrukturen.
- **Koronale Massenauswürfe:** Meist im Zusammenspiel mit eruptiven Protuberanzen und Flares auftretende Auswürfe großer Materiemengen aus der Sonnenkorona hinaus in den interplanetaren Raum. Mehr oder weniger großräumige, magnetisch vermittelte Instabilitäten lösen diesen besonders massereichen Materieauswurf aus.
- **Sonnenwind:** Aufgrund der hohen koronalen Temperaturen stetig aus Aktivitätsgebieten beziehungsweise meist polnäheren Gebieten mit unterschiedlicher Geschwindigkeit abströmender Teilchenwind. Beim Aufeinandertreffen unterschiedlich schneller Windkomponenten und Koronaler Massenauswürfe entstehen sogenannte Bugstoßwellen, in denen Teilchen auf extrem hohe Geschwindigkeiten beschleunigt werden können.



MSA/Cordell Space Flight Center, Text U. v. Kussow

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

IM DETAIL

Maßzahlen der Sonnenaktivität

- **Fleckenrelativzahl:** Diese zeitabhängige Maßzahl charakterisiert die Stärke der Sonnenaktivität anhand der Anzahl der auf der Sonnenoberfläche gerade beobachtbaren Sonnenflecken. Die Fleckenrelativzahl $R = f + 10g$ (f Anzahl aller Einzelflecken, g Anzahl der Fleckengruppen) ist ein recht gutes Maß für die Gesamtstärke des magnetischen Flusses, der durch die Sonnenoberfläche austritt, und somit auch für die Stärke der jeweils aktuellen Sonnenaktivität.
- **Radiostrahlung:** Die Intensität der Radiostrahlung bei einer Wellenlänge von 10,7cm korreliert recht gut mit der Fleckenrelativzahl.
- **UV- und Röntgenstrahlung:** Anders als die den gesamten Energietransport der elektromagnetischen Strahlung charakterisierende, im Verlaufe eines Aktivitätszyklus aber nur extrem wenig schwankende Solarkonstante,

ist die Intensität der von der Sonne ausgestrahlten UV-Strahlung und vor allem auch der Röntgenstrahlung ein recht gutes Maß für die Stärke der Sonnenaktivität.

- **Magnetischer Fluss:** Der global durch die Sonnenoberfläche austretende magnetische Fluss charakterisiert die Sonnenaktivität besonders gut. Die Bestimmung des Gesamtflusses erfordert jedoch einen besonders hohen Aufwand.
- **Flares und Koronale Massenauswürfe:** Die Stärke der elektromagnetischen Strahlung und der Teilchenstrahlung von Flaressowie der Massenumfang und die Geschwindigkeit der Materieauswürfe in den interplanetaren Raum charakterisieren die Stärke der aktuellen Sonnenaktivität unter Umständen nur für kurze Zeiträume.

einmal verlässlicher vorhersagen zu können, ist ein tieferes Verständnis der im Innern der Sonne ablaufenden Prozesse zur Erzeugung der solaren Magnetfelder erforderlich. Dynamoprozesse, bei denen Bewegungsenergie in magnetische Energie umgewandelt wird, sind dafür verantwortlich. In immer realistischeren Modellrechnungen kann gezeigt werden, dass großräumige Plasmaströmungen im Sonneninneren tatsächlich, wie beobachtet, periodisch variierende Magnetfelder mit unterschiedlichen Periodenlängen und Amplituden generieren können [4].

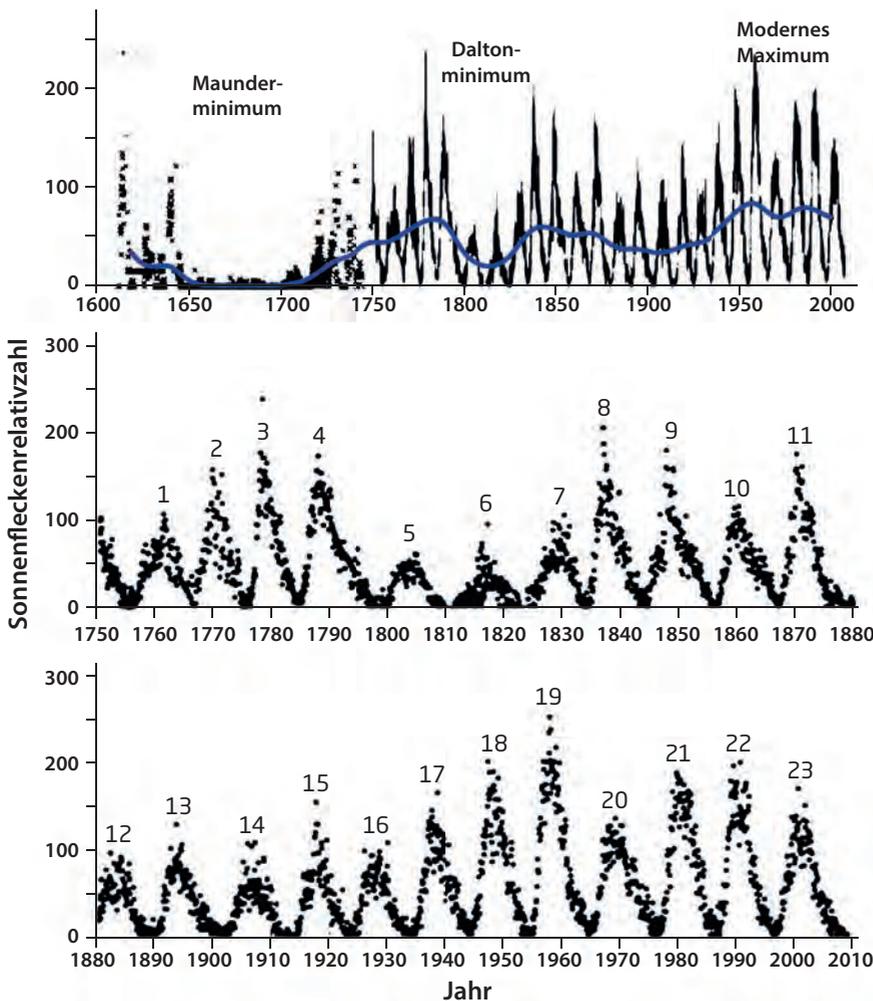
Solare Magnetfelder bewegen sich aufgrund der hohen elektrischen Leitfähigkeit des ionisierten Plasmas meist wie eingefroren mit der in charakteristischer Weise strömenden Materie mit. Als differenzielle Rotation bezeichnete Scherströmungen der Materie, durch Corioliskräfte in der rotierenden Sonne verdrehte turbulente Bewegungsmuster und Konvektionsströmungen sowie großräumige meridionale Zirkulationen können anfangs vorhandene magnetische Saattfelder in einer für die Wirkung des Dynamoprozesses geeigneten Weise verformen und zunehmend verstärken. Mithilfe des Modellbildes des sogenannten Flusstransport-Dynamos können wesentliche Eigenschaften des solaren Aktivitätszyklus erklärt werden (vgl. Kasten).

Aktivitätszyklen

Anhand von Flusstransport-Dynamo-Modellrechnungen lassen sich nicht nur die unterschiedlichen Zykluslängen und Stärken der Fleckenaktivität verstehen [5]. Auch Bedingungen für lang anhaltende extreme Aktivitätsminima wie das Maunder-Minimum [6] können damit erforscht werden [7]. Die die Schnelligkeit des Abbaus der Magnetfelder beschreibende magnetische Diffusivität, die Zeitskala für den Magnetfeldtransport durch meridionale Strömung sowie die Stärke der sich zum Aktivitätsminimum hin am Pol verdichteten poloidalen Feldstrukturen bestimmen danach die Eigenschaften des folgenden Fleckenzklus. Mithilfe von Dynamo-Modellrechnungen (siehe auch [9, 10]) und anderen

◀ Abb. 5: 400 Jahre Sonnenflecken-Beobachtung zeigen sowohl den typischen, periodisch schwankenden Verlauf der Sonnenfleckenrelativzahl als auch Phasen extrem beziehungsweise relativ schwacher Sonnenaktivität (Maunder- beziehungsweise Dalton-Minimum). Die Nummerierung der Fleckenzyklen begann 1755 im Minimum vor dem ersten Zyklus. Der aktuelle Zyklus trägt die Nummer 24.

R. A. Robitde (Global Warming Art), D.H. Hathaway/NASAMSFC



Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

IM DETAIL

Das solare Dynamo-Modell

Die Tachocline-Zone bezeichnet den Grenzbereich zwischen der relativ starr rotierenden inneren Strahlungszone der Sonne und der differenziell rotierenden äußeren Konvektionszone der Sonne. Die aufgrund der meridionalen Zirkulation polnah tiefer ins Sonneninnere absinkenden, meridional ausgerichteten und ins Plasma eingefrorenen sogenannten poloidalen Magnetfeldlinien werden aufgrund der hier starken differentiellen Rotation azimuthal aufgewickelt.

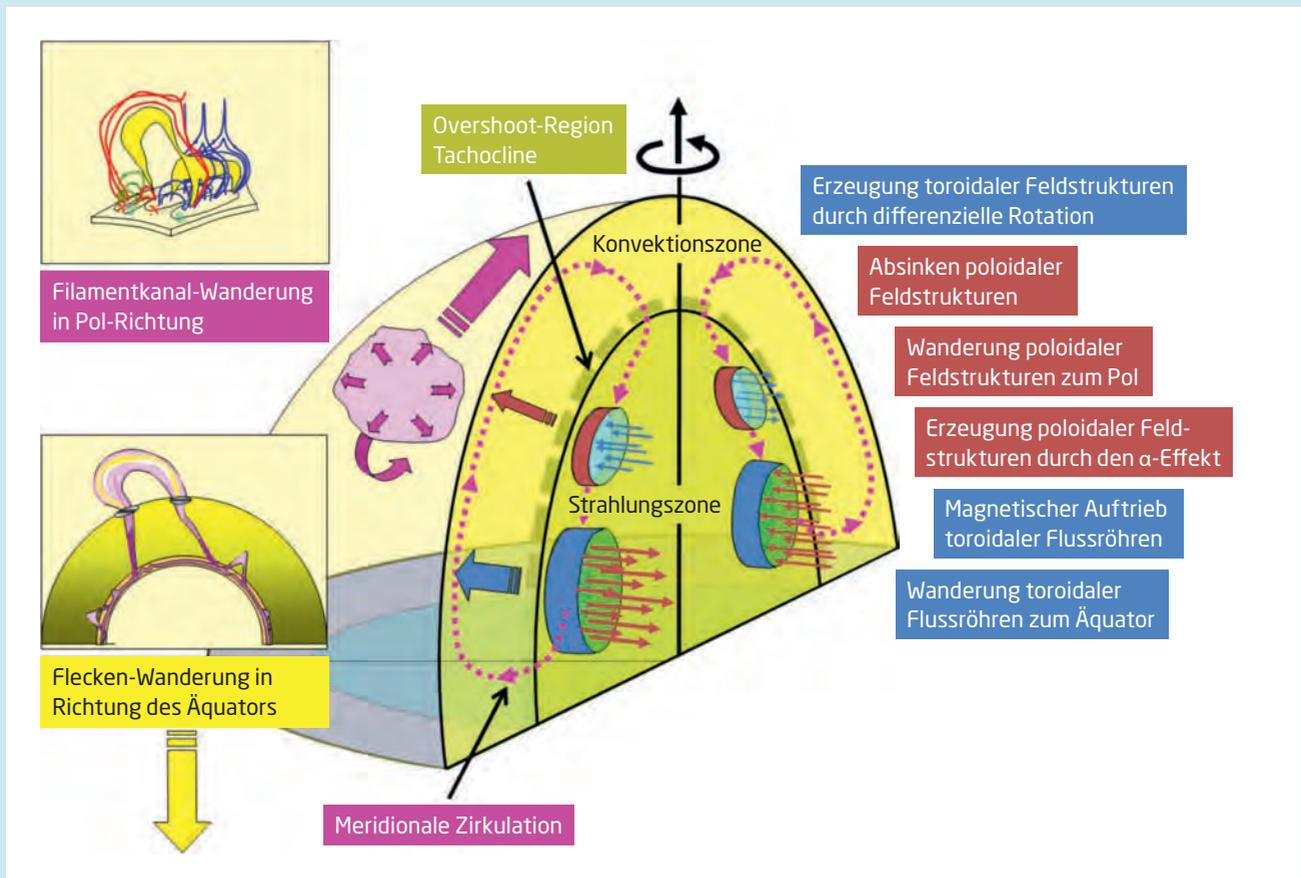
Im Laufe des Zyklus verstärken sich diese als toroidal bezeichneten Felder und wandern in Richtung des Äquators. Im Bereich der hier ebenfalls anzutreffenden Overshoot-Region dringen konvektive Strömungszellen immer wieder sporadisch von oben in die tiefer liegende Strahlungszone der Sonne ein. Sie lösen Instabilitäten aus, so dass die hier ursprünglich relativ stabil

gelagerten magnetischen Flussröhren durch Auftrieb, der durch magnetischen Einfluss bewirkt wird, durch die Konvektionszone aufsteigen. Dort, wo sie seeschlangengleich die Sonnenoberfläche durchstoßen, entstehen in der Regel Paare von Sonnenflecken mit jeweils unterschiedlicher magnetischer Polarität. Wegen der meridionalen Zirkulation am Boden der Konvektionszone entstehen die solaren Aktivitätsgebiete im Verlaufe des Fleckenzklus dabei zunehmend näher am Äquator.

Unter Einfluss konvektiver Strömungsbewegungen und der Corioliskraft werden die ursprünglich toroidalen Feldstrukturen beim Aufstieg durch das Sonneninnere verdreht. Es bilden sich Magnetfeldstrukturen mit poloidalen Feldanteilen aus. Am Rande und nach Abbau der Fleckenstrukturen entstehen Protuberanzen. Aus

dem Sonneninneren neu aufsteigende Flussröhren lösen nach magnetischen Rekonnexionsprozessen Flares und solare Eruptionen aus. Wie auf einem geschlossenen Fließband wandern danach abgeschwächte Feldstrukturen aufgrund der meridionalen Zirkulation polwärts.

Es kann gezeigt werden, dass sich hier zunehmend magnetischer Fluss mit einer im Vergleich zum vorangegangenen Fleckenzklus entgegengesetzten magnetischen Polarität sammelt. Poloidale Feldstrukturen mit jetzt entgegengesetzter Orientierung sinken zur Tachocline-Zone ab: Der 11-jährige Fleckenzklus ist beendet. Im Verlauf des etwa 22-jährigen magnetischen Aktivitätszyklus entstehen wieder mehr und mehr Flecken des neuen Fleckenzklus mit allerdings veränderten Polaritätsverhältnissen, zunächst in höheren heliographischen Breiten.

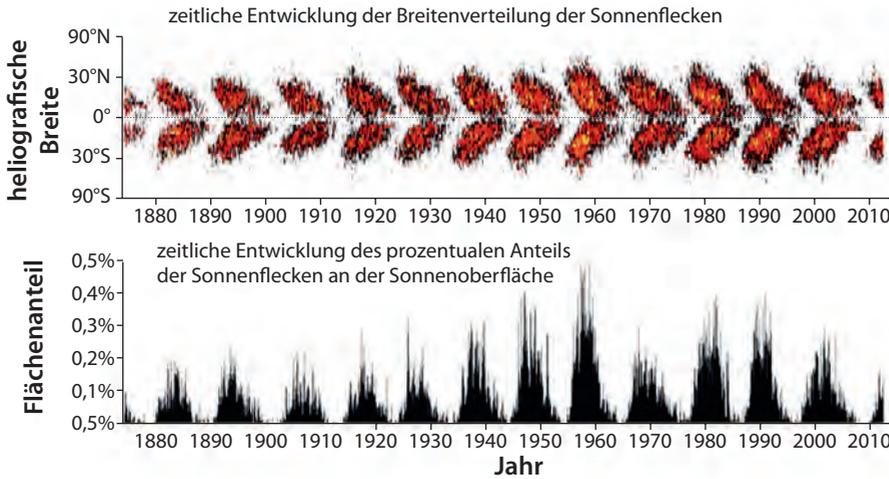


U. v. Kusterow

▲ Im Flusstransport-Dynamo Modellbild lässt sich die im Verlaufe des etwa 11-jährigen Zyklus erfolgende Wanderung der Fleckenzonen zum Äquator durch den Transport tief liegender magnetischer Feldstrukturen erklären. Die im Verlaufe des etwa 22-jährigen Zyklus erfolgende Umkehr des solaren magnetischen Polaritätsverhältnisses gelingt durch den polwärtigen Transport oberflächlicher magnetischer Feldstrukturen mit einem sich etwa alle elf Jahre hinsichtlich seiner Polarität verändernden magnetischen Fluss.

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

NASA/JPLU v. Kussnerow



Methoden versuchen die Wissenschaftler dafür verlässliche Vorhersagen zu machen [10].

Bedeutung der Planetenkonstellationen

Während die Sonne üblicherweise als ein isoliertes System ohne wesentlichen Einfluss von außen angesehen wird, gibt es darüber hinaus auch Untersuchungen, die die Einflussnahme der Planetenkonstellationen auf den Dynamoprozess und damit auch auf die Sonnenaktivität unterstellen [11]. Je nachdem wie groß die gemeinsame Gravitationswirkung aller Planeten auf die Vorgänge in der Tachocline-Zone und der Overshoot-Region ausfällt, könnten unterschiedlich starke Flussröhren über unterschiedliche Zeiträume verteilt zur Sonnenoberfläche aufsteigen. Diese Hypothese wird in Fachkreisen allerdings weitgehend abgelehnt.

Damit ließen sich auch die anhand der Registrierung kosmogener Radionukleide

vermuteten längerfristigen periodischen Schwankungen der Fleckenaktivität von beispielsweise 88 Jahren (Gleissberg-Zyklus), 208 Jahren (de Vries-Zyklus), 1000 Jahren (Eddy-Zyklus) oder sogar 2200 Jahren (Hallstatt-Zyklus) erklären. Je nach Stärke des schützenden heliosphärischen Magnetfeldes fällt die Rate, durch kosmische Strahlung in der Stratosphäre der Erde erzeugter, im Holz abgestorbener Bäume beziehungsweise in polaren Eiskernen anzutreffender radioaktiver ¹⁴C-Kohlenstoff- beziehungsweise ¹⁰Be-Beryllium-Isotope, bekanntlich unterschiedlich hoch aus.

Einfluss des Weltraumwetters

Das durch die magnetisch vermittelte Sonnenaktivität bestimmte Weltraumwetter nimmt Einfluss auf Satellitensysteme, auf bodengestützte technische Einrichtungen, auf das Wetter und Erdklima sowie auf Menschen, die seinem Einfluss mehr oder

weniger ungeschützt ausgesetzt sind. Durch den Einschlag hochenergetischer Partikel bewirkte einfache Signalveränderungen oder schwerere Fehlfunktionen können die Arbeit von Satelliten beeinträchtigen oder unmöglich machen. Die Zerstörung einzelner Bauteile erfolgt dabei durch Aufladung, akuten Stromfluss oder Funkenflug bei Entladungsvorgängen.

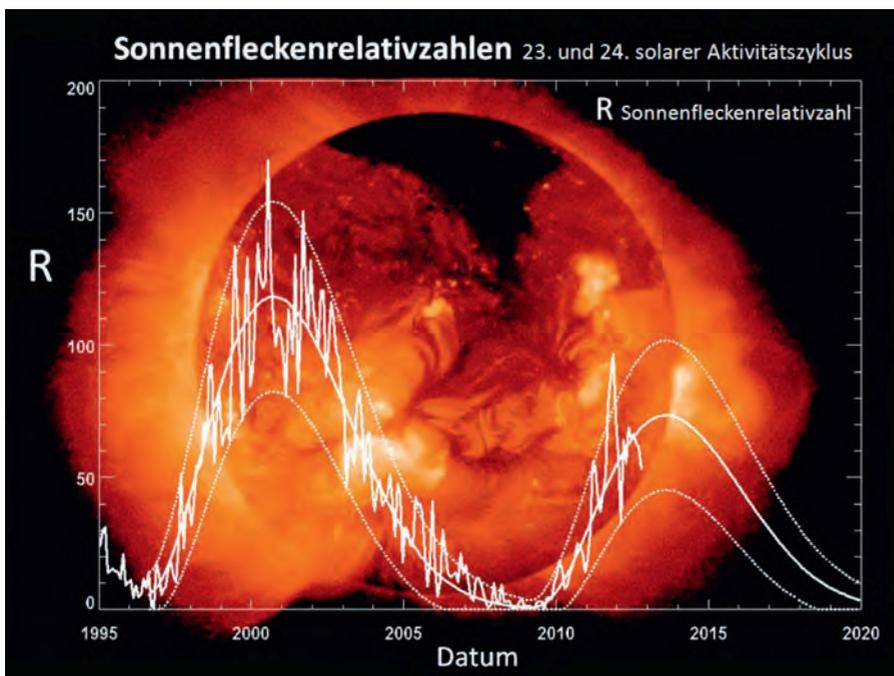
In Zeiten starker geomagnetischer Stürme führen atmosphärische Dichtezunahmen und damit einhergehende Reibungsprozesse zum Absinken der Raumschiffe in der Umlaufbahn, möglicherweise sogar zu deren Absturz. Radarsignale, die Kommunikation in Hochfrequenzbändern oder GPS-Signale können nach heftigen Sonnenstürmen durch Veränderung der ionosphärischen Bedingungen massiv gestört werden. Durch Veränderung des Erdmagnetfeldes induzierte starke Ströme in Hochspannungsnetzen haben zur Zerstörung von überlasteten Transformatoren und zum Ausfall von Kraftwerken geführt. Vor allem in polnahen geographischen Breiten können solche Ströme langfristig zur Korrosion von Pipelines und anderen elektrisch leitfähigen Netzen führen.

Die Auswirkungen des Weltraumwetters sind nicht nur eine reale Bedrohung für das Leben der Astronauten insbesondere außerhalb der begrenzt schützenden Magnetosphäre der Erde. Bei zu hoher Strahlenbelastung muss selbst der öffentliche Flugverkehr in Zeiten starker Sonnenaktivität aus Sicherheitsgründen häufiger von seiner geplanten Flugroute über polare Regionen abweichen. Inwieweit die Gesundheit der Menschen

weniger ungeschützt ausgesetzt sind. Durch den Einschlag hochenergetischer Partikel bewirkte einfache Signalveränderungen oder schwerere Fehlfunktionen können die Arbeit von Satelliten beeinträchtigen oder unmöglich machen. Die Zerstörung einzelner Bauteile erfolgt dabei durch Aufladung, akuten Stromfluss oder Funkenflug bei Entladungsvorgängen.

Die Auswirkungen des Weltraumwetters sind nicht nur eine reale Bedrohung für das Leben der Astronauten insbesondere außerhalb der begrenzt schützenden Magnetosphäre der Erde. Bei zu hoher Strahlenbelastung muss selbst der öffentliche Flugverkehr in Zeiten starker Sonnenaktivität aus Sicherheitsgründen häufiger von seiner geplanten Flugroute über polare Regionen abweichen. Inwieweit die Gesundheit der Menschen

D.H.Herthaway/NASA/MSFC



Der aktuelle 24. Fleckenzklus ist ein schwacher Aktivitätszyklus mit relativ geringer Fleckenrelativzahl, bei dem vorangehende Flecken einer Fleckengruppe auf der Nordhalbkugel der Sonne in der Regel eine magnetische Südpolarität aufweisen (siehe Abb. 2). Dies gilt aufgrund der Umpolungen im Verlaufe des etwa 22-jährigen magnetischen Aktivitätszyklus, nachdem im 23. Fleckenzklus entsprechende Flecken durch magnetische Nordpolaritäten ausgezeichnet waren.

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



ISS/NASA/J. Arcene

▲ Abb. 8: Die Entstehung von Polarlichtern in der Ionosphäre der Erde wird durch verstärkte Sonnenaktivität ausgelöst. Astronauten können von der Internationalen Raumstation ISS aus verfolgen, wie die Häufigkeit und Stärke ihres Auftretens im Rhythmus des solaren Aktivitätszyklus deutlich schwankt.

generell bei stark erhöhter Sonnenaktivität beeinflusst werden kann, ist ungeklärt.

... und das Klima?

Die Sonne ist die zentrale Energiequelle für das Leben auf der Erde. Sie nimmt dadurch als »natürlicher Verursacher« auch wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung des Klimas auf unserem Planeten [3].

Wenn die folgenden Fleckenzyklen noch wesentlich schwächer als der aktuelle 24. ausfallen sollten, dann könnte jetzt ein dem Maunder-Minimum ähnlicher Zeitabschnitt schwacher Sonnenaktivität beginnen. Dieses in Fachkreisen als sehr unwahrscheinlich eingeschätzte Szenario würde nach der dargestellten Theorie eine Verstärkung der in die Erdatmosphäre eindringenden kosmischen Strahlung, eine Zunahme der durch die Anziehung der geladenen Partikel unterstützten Kondensationsprozesse und einen dadurch merklichen Anstieg der globalen Wolkenbedeckung zur Folge haben.

Zurzeit wird dieser mögliche indirekte Einflussfaktor der Sonne auf das Klima anhand der Einflussnahme hochenergetischer Partikel auf die Wolkenbildungsprozesse im CLOUD-Experiment (Cosmics Leaving Outdoor Droplets) beim CERN in der Schweiz erforscht [12]. Es bleibt spannend abzuwarten, welche neuen Formen des Einflusses der Sonne auf die Erde dabei zutage treten werden.

[1] Kippenhahn, R.: Der Stern, von dem wir leben – Den Geheimnissen der Sonne auf der Spur, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart (1990)

[2] Kloss, A.: Geschichte des Magnetismus, vde-verlag GmbH, Berlin und Offenbach (1994)

[3] Kusserow, U. v.: Die Sonne, das Erdklima und das Leben auf unserem Planeten (Teil 1–8), Nachrichten der Olbers-Gesellschaft e.V., Bremen (2008/2013)

[4] Kusserow, U. v.: Magnetischer Kosmos – To B or not to B, Sachbuch, Springer-Spektrum Verlag (2013)

[5] Choudhuri, A. R.: Flux-transport and mean-field dynamo theories of solar cycles, IAU (2010), <http://arxiv.org/abs/1211.0520>

[6] Zekl, H.: Sonne ohne Flecken, Das Maunder-Minimum und die Folgen, interstellarium 69, 12 (2010)

[7] Karak, B. B., Choudhuri A. R.: Modelling grand minima of solar activity using a flux transport dynamo model, IAU 294 (2013), <http://arxiv.org/abs/1211.0165>

[8] Cameron R. H., Schüssler M.: Are the strength of solar cycles determined by converging flows towards the activity belts, Astron. Astrophys. submitted October 2012, <http://arxiv.org/abs/1210.7644>

[9] Simoniello, R. et al: The quasi-biennial periodicity as a window on the solar magnetic dynamo configuration (2012), <http://arxiv.org/abs/1210.6796>

[10] Kusserow, U. v.: Vermisste Sonnenflecken (Teil 1–3), Nachrichten der Olbers-Gesellschaft e.V., Bremen (2009/2010)

[11] Abreu, J. A. et al: Is there a planetary influence on solar activity?, Astron. Astrophys. 548, A88 (2012)

[13] Kirgby, J. et al: Role of sulfuric acid, ammonia and galactic cosmic ray in atmospheric aerosol nucleation, Nature 476, 19011 (2011)

SURFTIPPS

Weitere Artikel des Autors zum Thema:

☞ uvkusserow.magix.net/website#Artikel

Verbindung Sonne-Erde:

☞ solarphysics.livingreviews.org/Articles/subject.html

NASA-Seite zur Sonnenphysik:

☞ science.nasa.gov/heliophysics

Solar Dynamics Observatory:

☞ sdo.gsfc.nasa.gov

STEREO-Sonden:

☞ www.nasa.gov/mission_pages/stereo/main/index.html

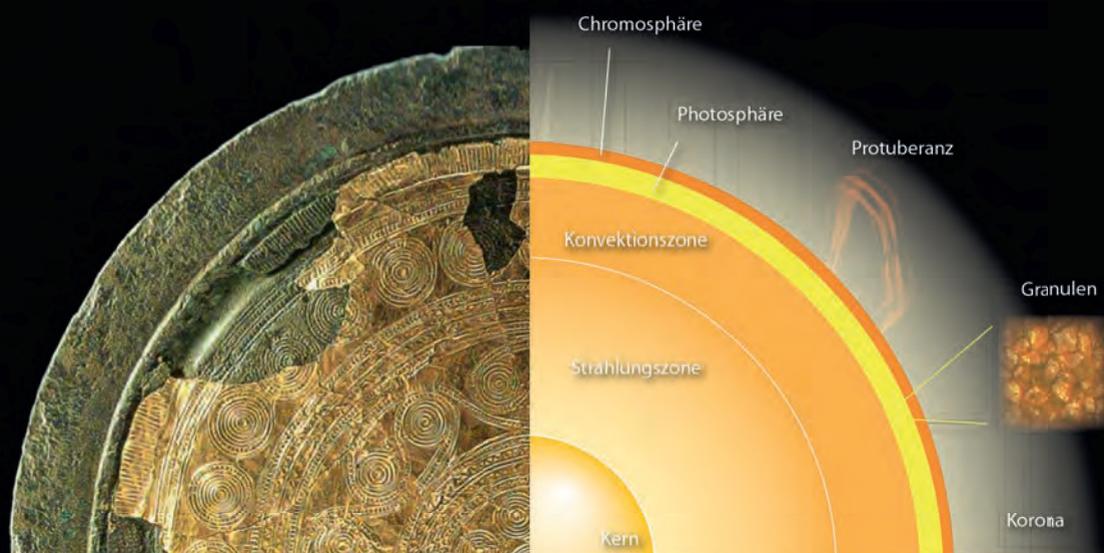
Hinode-Sonnensatellit:

☞ www.nasa.gov/mission_pages/hinode/index.html

Aktuelles Weltraumwetter:

☞ www.spaceweather.com

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



Die Entdeckung unseres Sterns

Vom Sonnengott zum Sonnenneutrino

von Nico Schmidt

Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt, J. Lipták, R. Hempel, NASA/SDO and the AIA, EVE, and HMI science teams

▲ Abb. 1: So wandelte sich das Bild unserer Sonne über die Jahrtausende: Aus der goldenen Scheibe des bronzezeitlichen Sonnenwagens von Trundholm (oben links) vor 400 Jahren wurde ein Stern mit dunklen Flecken (unten rechts) und vor 150 Jahren ein aktiver Gasball mit gewaltigen Eruptionen (unten links). Schließlich wird mit Theorien ein Blick ins verborgene Innere der Sonne (oben rechts) geworfen.

Zuerst war die Sonne nur eine vollkommene Gottheit, die die ersten Astronomen entthronten und die von Kopernikus wieder ins Zentrum gesetzt wurde. Anschließend bekam ihre makellose Schönheit Flecken und man entdeckte, dass die Sonne ein rotierender Gasball gigantischen Ausmaßes ist. Die Sonne wurde zu einem Stern unter Tausenden, wie sie am Nachthimmel mit bloßem Auge sichtbar sind. Und als im 20. Jahrhundert das Geheimnis um die Energiequelle der Sterne gelöst wurde, ist aus dem einstigen Sonnengott ein atomares Kraftwerk geworden, das schon seit Jahrmilliarden jeden Morgen im Osten aufgeht. Wie sich mit jeder neuen Entdeckung das Bild unseres Heimatsterns änderte, schildert dieser astronomiegeschichtliche Rückblick der Sonnenforschung.

Die Sonne ist das alltägliche Wunder, das einen ganzen Stern [die Erde] erhält, Riesenreiche, 2400 Millionen Menschen, alle Brunnen springen lässt, alle Äcker tragen lässt und den Kelchen aller Blüten befiehlt: Öffnet euch!« So formulierte Bruno H. Bürgel, Autor vieler astronomischer Bücher, 1949 in einer Neuauflage von »Aus fernem Welten« das Erstaunen über die leuchtende Himmelsscheibe, die jeden Tag erhellt. Dieser Satz gibt besonders treffend die ganze Faszination für die Sonne wieder, deren Verehrung als Lebensspender schon Jahrtausende zurückreicht. So findet sich seit jeher die Sonne in den Mythen alter Völker und Hochkulturen als Symbol für ewiges und sich immer wieder erneuerndes Leben.

Sonnengötter ...

In der nordischen Mythologie war sie die Göttin Sól, in der römischen Sagenwelt Sol, bei den Sumerern hieß sie Utu und die Inka-Herrscher nannten sich selbst »Sohn der Sonne« (Intip Churin). Im alten Ägypten ging der Sonnenkult sogar soweit, dass um 1350 v. Chr. der junge Pharao Amenophis IV. die Sonne (Aton) zum einzigen Gott machte und sich in Echnaton (»Sohn der Sonne«) umbenannte. Seine Gemahlin Nofretete erhielt den Beinamen Nefer-neferu-Aton (»Vollkommen ist die Schönheit der Sonne«) [2]. Neben Aton waren Re oder Amun-Re weitere Namen für ägyptische Sonnengötter; die Sonnenscheibe symbolisierte das rechte Auge des Himmelsgottes Horus, wurde aber auch als Auge des Re bezeichnet.

Im antiken Griechenland stellte man sich den Sonnengott Helios vor, wie er jeden Tag mit seinem von vier Pferden gezogenen Sonnenwagen über den Himmel ritt (Abb. 3). Darstellungen eines Transportmittels für die Sonne sind auch von anderen Kulturen bekannt. So ist etwa der vor 111 Jahren gefundene sogenannte Sonnenwagen von Trundholm die bekannteste mit Gold verzierte Skulptur aus der Bronzezeit, die man in Skandinavien gefunden hat. Hergestellt wurde das 60cm lange Bronzemedell gegen 1400 v. Chr., etwa zur Zeit des Pharaos Echnaton. Es zeigt ein Pferd, das eine Sonnenscheibe zieht. Die symbolhafte Sonne wurde auf einer Seite mit einem reich an Kreismustern verzierten Goldblech überzogen. Beim ägyptischen Sonnenmythos findet

► Abb. 3: Mit selbst gebauten Schwingen kam Ikarus der Sonne, hier als Helios mit Sonnenwagen dargestellt, zu nahe, so dass das Wachs in den Flügeln schmolz und er in die Tiefe stürzte.



▲ Abb. 2: Ein goldener Sonnenaufgang mit dem Siebengebirge und dichten Nebelschwaden im Rheintal als Kulisse.

man eher sog. Sonnenbarken- oder schiffe, der untere Goldbogen auf der berühmten Himmelsscheibe von Nebra lässt sich ebenfalls als Sonnenbarke interpretieren.

... und Sonnenbahn

Dass die Menschen vor Jahrtausenden die Sonne nicht nur als strahlende Gottheit verehrten, zeigt sich am eindrucksvollsten am weltberühmten und fast 4500 Jahre alten Steinkreis von Stonehenge (Abb. 4) nahe der englischen Stadt Salisbury. Selbst heute ist die etwa zwischen 2400 und 2100 v. Chr. errichtete Megalithstruktur von den Archäologen noch

nicht völlig enträtselt, doch sicher ist, dass die Menschen am Übergang von Jungsteinzeit zur Bronzezeit den Jahreslauf der Sonne beobachteten. Das monumentale Bauwerk scheint nicht zufällig zu den vier Wendepunkten der Sonnenbahn ausgerichtet zu sein und mit dem Wissen um Sommersonnenwende (Sommeranfang), Wintersonnenwende (Winteranfang) und die zwei Tag-und-Nacht-Gleichen (Frühlings- und Herbstanfang) lässt sich diese Kultstätte als steinerner Kalender deuten.

Ähnliches gilt für die Kreisgrabenanlage bei Goseck, zwischen Leipzig und Erfurt gelegen, die heute das älteste Sonnenobservatorium Europas darstellt. Die Anlage wurde vor



► Abb. 3: Mit selbst gebauten Schwingen kam Ikarus der Sonne, hier als Helios mit Sonnenwagen dargestellt, zu nahe, so dass das Wachs in den Flügeln schmolz und er in die Tiefe stürzte.

M.-L. Nguyen, Wikimedia Commons

J. Barton



◀ Abb. 4: Seit seiner Errichtung vor fast 4500 Jahren ist der weltberühmte Steinkreis von Stonehenge mit dem Lauf der Sonne verbunden.

6800 Jahren errichtet und ist somit rund 2500 Jahre älter als die markanten Pfeilersteine von Stonehenge. Wie der originalgetreue Goseck-Nachbau zeigt, gab es im Palisadenwall zwei Tore, die genau auf die Punkte des Sonnenaufgangs und -untergangs zur Wintersonnenwende ausgerichtet waren. Das Wissen um den Jahreslauf der Sonne und die damit verbundenen Jahreszeiten waren für die Menschen der Jungsteinzeit wichtig, um erfolgreich Ackerbau und Viehzucht betreiben zu können.

Von der Scheibe zum Stern

Nicht erst Giordano Bruno erklärte in der Spätrenaissance die Lichtpunkte zu fernen Sonnen und damit die Sonne zu einem Stern, denn ähnliche Ansichten traten schon im antiken Griechenland auf. Etwa um 500 v. Chr. begann sich der Wandel von Mythologie zur Naturwissenschaft zu vollziehen; man versuchte Sonne, Mond und Sterne, alle Natur

der Dinge, gewissermaßen zu entzaubern. Denn statt mythischer Welterklärungen mit Göttern, Sagengestalten und übernatürlichen Kräften wollte man jetzt mit rationalen und wissenschaftlichen Denkweisen die Naturphänomene erklären. »Alles ist voller Götter« meinte noch spöttisch Thales von Milet, der Vater der Philosophie, der sich auch als erster Naturforscher bezeichnen lässt, denn für ihn waren die Sterne und selbst Helios' Sonnenscheibe feurige Körper. Beispielsweise erklärte der Denker als Erster richtig, dass der Mond sein Licht von der Sonne erhält, wie Sonnen- und Mondfinsternisse entstehen und er soll sogar die Sonnenfinsternis vom 28. Mai 585 v. Chr. vorausberechnet und damit einen fünfjährigen Krieg beendet haben.

Thales' Schüler und andere Vorsokratiker befassten sich u.a. ebenfalls mit der Sonne. Anaximander stellte sich ein Sonnenrad vor, das sich in 27-fachem Erdabstand befinden und selbst so breit wie die Erde sein sollte. Ein Loch, durch das das Feuer in dem hohlen

Felgenkranz zum Vorschein kam, sollte die Sonne darstellen. Um 350 v. Chr. nahm außerdem Herakleides, Philosoph und Schüler Platons, bereits den heliozentrischen Grundgedanken voraus, indem er Merkur und Venus um die Sonne kreisen ließ [1]. Und auch beim Vorsokratiker Anaximenes lässt sich eine weitsichtige Denkweise finden, in der er die Sonne ebenso für einen Stern hielt und zudem berichtete, »die Gestirne seien von feuriger Natur, sie umfassten aber auch bestimmte erdartige Körper, die sich um sie herum bewegten und unsichtbar seien«. Darin finden sich Grundgedanken zur Heliozentrik bzw. zu Exoplaneten. Aristoteles entwickelte etwa um 350 v. Chr. eine andere Vorstellung von der Sonne: Er hielt sie nicht für feurig und beschrieb eine Reibungstheorie, in der ihre »Wärme und das Licht« dadurch entstehen, »dass die Luft durch die Bewegung gerieben wird«.

Außerdem wurden erste Abschätzungen zur Größe unseres Tagesgestirns abgegeben. Anaxagoras vermutete die Sonne »größer als den Peloponnes«, Heraklit hielt sie jedoch nur für »einen menschlichen Fuß breit« und später war zwar Aristarch mit seiner geometrischen Methode auf dem richtigen Weg, erhielt jedoch für die Sonne aufgrund falscher Zahlen statt den 400-fachen nur einen 19-fachen Monddurchmesser. Ähnlich erging es um 250 v. Chr. Eratosthenes, der durch seine richtige Berechnung des Erdumfangs von 40000km berühmt wurde, aber die Sonne nur für 27-mal größer als die Erde hielt.

Sonnen-Revolution

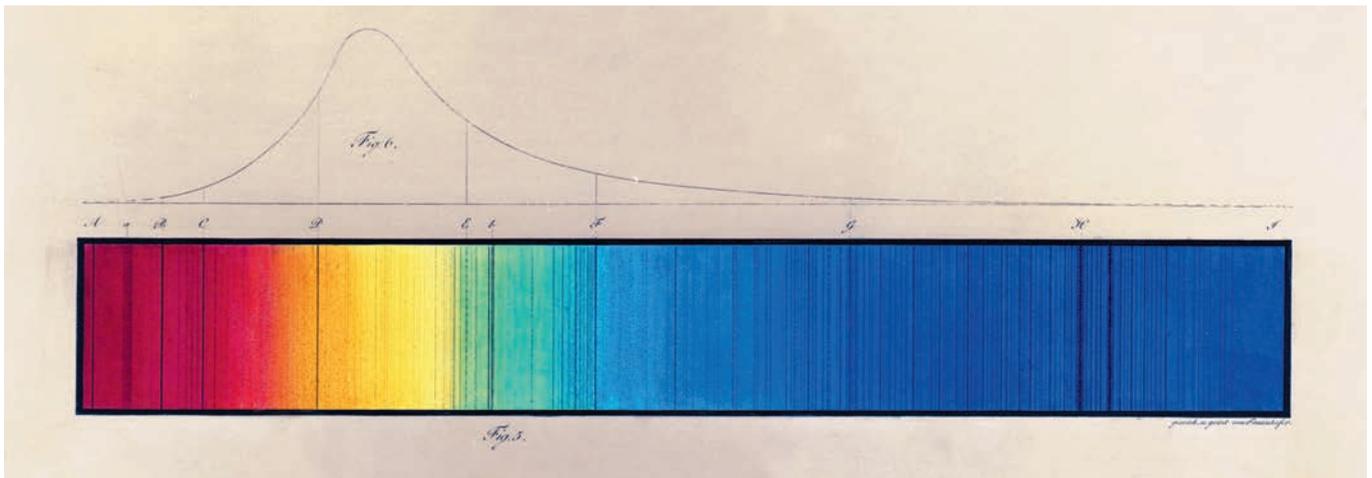
Obwohl die Sonne als Lebensspender seit Menschengedenken eine zentrale Rolle einnahm und in der Antike sogar als »Herz des Universums« bezeichnet wurde, sollte sich dennoch alles um die Erde drehen. Denn anhand der Beobachtung des täglichen Sonnenlaufs scheint es immerhin offensichtlich, dass sich die Sonne um eine ruhende Erde bewegt. Der griechische Astronom und Mathematiker Aristarch entwarf zwar als Erster ein heliozentrisches Modell, in dem die Erde um die Sonne kreist, allerdings sollte

◀ Abb. 5: Unterhalb des Doms im polnischen Frombork (Frauenburg) befindet sich das Grundstück, auf dem Nikolaus Kopernikus sein heliozentrisches Weltbild entwarf.

K. Czajkowska



Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



Fraunhofer-Gesellschaft

▲ Abb. 6: 1814 entdeckte Joseph Fraunhofer mit einem Prismenspektrometer im Spektrum der Sonne »ungefähr 574 Linien« und hielt sie in dieser Darstellung fest.

sich die geozentrische Kosmologie mit einer Erde als Mittelpunkt noch für fast 2000 Jahre als gültige Lehrmeinung halten. In der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts wollte Nikolaus Kopernikus, ein Geistlicher des Frauenburger Domkapitels am Rande Preußens (Abb. 5), unser Weltbild revolutionieren, sein vereinfachender Entwurf wurde aber nur als Rechenrick abgetan, so dass 1539 selbst Martin Luther spottete: »Dieser Narr will die ganze Kunst Astronomiae umkehren.«

Die erwartete Revolution bzw. der Beweis für Kopernikus' Weltmodell kam erst mit der Erfindung des Teleskops im Jahr 1609. Es waren Galileo Galileis erste Himmelsbeobachtungen mit einem nachgebauten Fernrohr, die eher für ein heliozentrisches Weltbild sprachen und es war auch Johannes Kepler, der mit den ebenfalls 1609 entdeckten Bahngesetzen den vollkommenen Kreis im Sonnensystem für unmöglich hielt und die Planeten stattdessen auf elliptischen Bahnen um die zentrale Sonne laufen ließ.

Sonne mit Makel

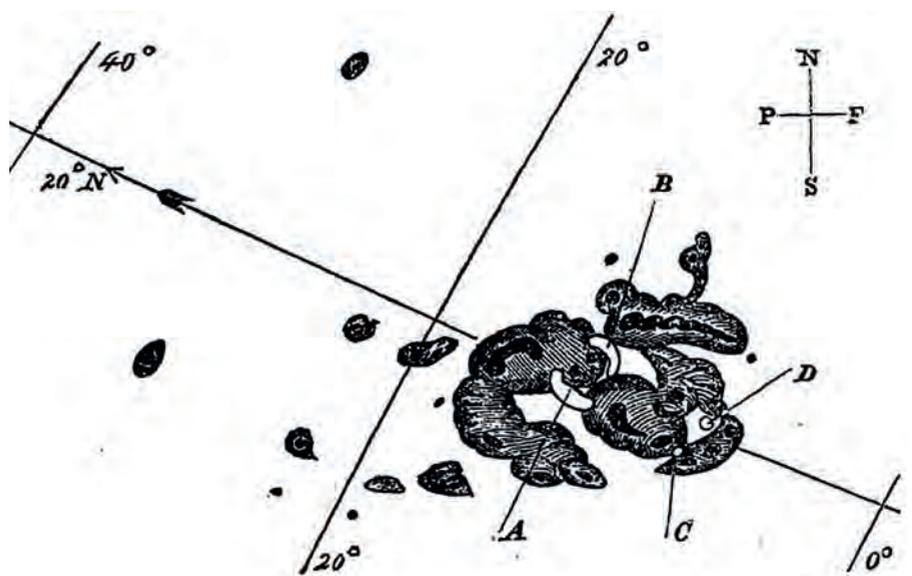
Doch Galileis Beobachtungen rüttelten noch an einer anderen antiken Vorstellung, nach der die Sonne vollkommen sein sollte. Seit jeher galt die strahlende Sonne als reine Gottheit und makellose Schönheit, aber mit dem Teleskop ließen sich nun dunkle Punkte und Flecken ausmachen. Gleichzeitig mit Galilei entdeckten auch deutsche Himmelsbeobachter die seltsamen Sonnenflecken: Christoph Scheiner im Turmzimmer der

Heilig-Kreuz-Kirche in Ingolstadt und Johann Fabricius mit seinem Vater David im ostfriesischen Dorf Osteel.

Während Scheiner die dunklen Gebilde für Wolkenphänomene hielt, schlussfolgerte der italienische Astronom im Mai 1612 in einem Brief an Prinz Federico Cesi ganz deutlich [1]: »Ich würde sagen, dass die Sonnenflecken auf der Oberfläche der Sonne erzeugt werden und wieder vergehen und unmittelbar an sie angrenzen, während die Sonne, sich um ihre eigene Achse in ungefähr einem lunaren Monat drehend, sie entlangführt und dabei einige zurückbringt, deren Lebensdauer einen Monat übersteigt, die dann aber in Form und Gestalt so verändert sind, dass es schwer ist, sie wiederzuerkennen.« Für Galilei war diese Entdeckung die »Beerdigung und eher noch das Jüngste Gericht der Pseudophilosophie« – Aristoteles' reine und perfekte Sonnenscheibe war jetzt eine rotierende und mit Flecken versehene Kugel im Zentrum unseres Planetensystems.

Die Schlüsselrolle der Fraunhoferlinien

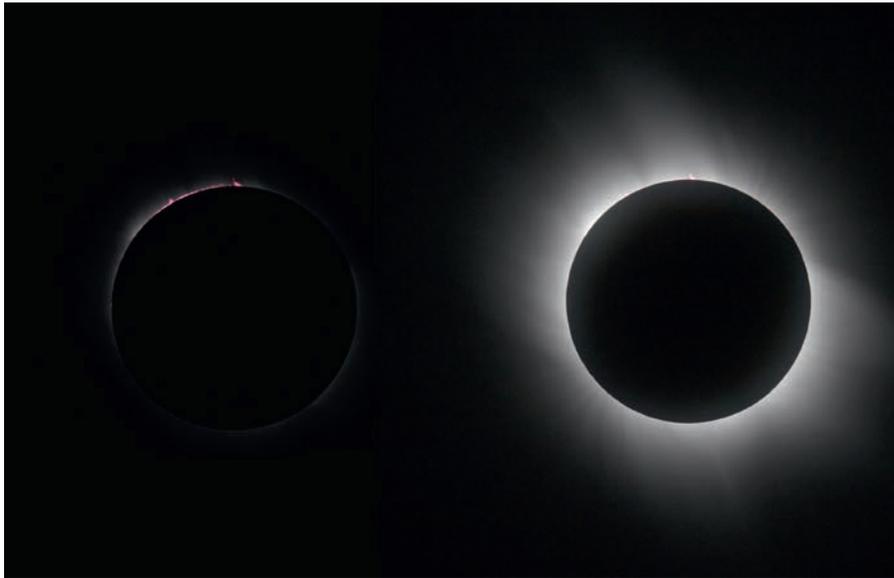
Während in den nächsten Jahrhunderten Astronomen wie Physiker mit unterschiedlichen und kuriosen Theorien die Natur der Sonnenflecken erklären wollten, folgte schon ihren Anfang in dem ehemaligen bayrischen Kloster Benediktbeuern und führte zu einem völlig neuen Bild von der Sonne und letztlich zur Begründung der Astrophysik [2]. Die dortige Glashütte leitete der zum »Spiegelmacher und Zierratenglasschleifer« ausgebildete Joseph Fraunhofer. Die im Jahr 1814, also vor fast 200 Jahren, mit einem Prismenspektrometer gemachte Beobachtung von dunklen Linien im Spektrum der Sonne nutzte er schließlich zur Optimierung der Glasherstellung, denn die seltsamen Striche erschienen immer in den gleichen Abständen zueinander. Er nutzte die Spektrallinien aber nicht nur als Messwerkzeug, der Optiker dokumentierte sie (Abb.



Wikimedia Commons

► Abb. 7: Richard Carrington hielt 1859 das helle Flare-Ereignis (A und B) zeichnerisch fest; nach nur fünf Minuten war das Phänomen bei C und D letztmalig zu sehen.

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



◀ Abb. 8: Sekunden vor der Totalität zeigt sich die dünne Chromosphäre mit den Protuberanzen (links), die Korona ist nur während der vollständigen Verfinsternung sichtbar (rechts).

6), zählte »ungefähr 574 Linien« und fand sie sogar im Licht der hellsten Sterne.

Fast ein halbes Jahrhundert nach ihm entschlüsselten Gustav Kirchhoff und Robert Bunsen um 1860 das Rätsel der sog. Fraunhoferlinien. In ihrem Heidelberger Institut wiesen sie nach, dass jede Linie ganz charakteristisch nur für ein bestimmtes Element stehen kann. Mit der Entdeckung des chemischen Fingerabdrucks konnten sie Stoffe wie Natrium, Kalzium, Magnesium, Nickel, Kupfer, Zink, Eisen usw. im Sonnenspektrum nachweisen. Daraufhin schrieb Kirchhoff im Mai 1860 an seinen Bruder Otto: »Ich habe es einem entfernten Bekannten von mir nicht verdacht, dass er mir bei einem Spaziergange neulich erzählte, ein verrückter Kerl wolle auf der Sonne Natrium entdeckt haben. Dabei konnte ich der Versuchung nicht widerstehen, ihm zu sagen, dass ich dieser verrückte Kerl sei.«

Mit dem Spektrometer wurde die Sonne (und alle Sterne gleichermaßen) zu einem Chemielabor, ohne direkt eine Probe des Gestirns in Händen halten zu können. Die beiden Professoren – der Physiker Kirchhoff und der Chemiker Bunsen – hatten den im Sonnenlicht versteckten Schlüssel für die physikalische und chemische Untersuchung der Sterne entdeckt und begründeten mit der Spektralanalyse gleich einen ganz neuen Zweig der Astronomie: die Astrophysik. Mit dieser Entdeckung wurden außerdem die ersten Theorien zur physischen Beschaffenheit der Sonne entwickelt. Wie es Gustav Kirchhoff mit eigenen Worten beschrieb, stand für ihn fest, dass »die Sonne ein in der höchsten Weißglühhitze befindlicher fester oder flüssiger Körper ist, den eine gasförmige Atmosphäre umgibt«. Nach seiner Meinung soll die Temperatur der Gasschicht der sichtbaren Sonnenoberfläche, die Photosphäre, sogar

über dem Schmelzpunkt von Platin liegen und im »Innern der Sonne muss die Hitze noch erheblich größer sein«.

Ein turbulenter und aktiver Gasball

In den 1860er-Jahren, in denen Kirchhoff nur von einer heißen Gasschicht an der Oberfläche ausging, stellte sich der französische Astronom Hervé Faye die Sonne als einen vollständigen Gasball vor. Wie er 1868 selbst formulierte, bezog er »die Thermodynamik zum Studium der Erscheinungen der Sonne« mit ein und hielt turbulente Gasströmungen für möglich, die aus dem Inneren aufsteigen, sich dabei abkühlen, wobei sie an der Oberfläche als Sonnenflecken auftauchen, und wieder absinken.

Davon überzeugt war auch Angelo Secchi, ein italienischer Pionier der Astrophysik: »Im Innern der Sonne gehen gewaltige Umwälzungen vor sich, deren Wirkung sich bis an die Oberfläche fortsetzt.« Damit war erstmals von Konvektion der Gasmassen die Rede, mit der sich heute z.B. der Energietransport erklären lässt. Dass die Sonne statt einer starren Kugel eher ein gigantischer Gasball sein muss, folgte ebenso der Entdecker der differentiellen Rotation, der britische Bierbrauer und Sonnenbeobachter Richard Carrington.

Bereits zuvor hatte sich die Sonne während einer Beobachtung Carringtons am 1. September 1859 unerwartet als ein sehr aktiver Stern herausgestellt. »Zwei Flecken intensiven hellen und weißen Lichts brachen aus«, beschrieb der 33-jährige Hobbyastronom einen auf dem Projektionsschirm beobachteten weißen Lichtblitz in einem auffälligen Sonnenfleck (Abb. 7) [3]. Zufällig wurde auch 35km nördlich in London ein anderer Beobachter

Zeuge dieses unbekanntes Phänomens und verglich die Helligkeit des Aktivitätszentrums mit dem »blendenden Glanz von α Lyrae in einem großen Teleskop«.

Zwar stellte sich erst im 20. Jahrhundert heraus, dass bei den sogenannten Flares kurzzeitig riesige Energiemengen freigesetzt werden, die im Röntgen- und UV-Bereich sowie in extremen Fällen sogar als Weißlicht-Flares auftreten, doch aus diesem als Carrington-Ereignis in die Geschichte eingegangenen Phänomen folgte bereits der erste direkte Hinweis auf eine Verbindung von Sonnenaktivität und magnetischen Störungen auf der Erde. Denn nur 16 Stunden nach der Sonneneruption wurde die Nacht hell erleuchtet: Polarlichter waren bis zu 20° nördlicher Breite auf Hawaii, in Mittelamerika und in der Karibik sichtbar; außerdem brachen in Telegrafie-Stationen Feuer aus, Telegrafen spielten verrückt und verschickten unlesbare Nachrichten allein mit den induzierten Strömen des geomagnetischen Sturms. Carrington warnte jedoch vor voreiligen Schlüssen bezüglich eines Zusammenhangs der beiden beobachteten Ereignisse, was er mit »eine Schwalbe macht noch keinen Sommer« kommentierte.

Blick über den Sonnenrand

In diesen Jahren konnten aber auch andere Phänomene – besonders der turbulenten Randbereiche – der Sonne mit der entstandenen Spektroskopie genauer untersucht werden. Wenn bei einer totalen Sonnenfinsternis die Sonnenscheibe vollständig abgedeckt wird (Abb. 8), ermöglichte dies besonders gut die spektrale Untersuchung der Chromosphäre (einer Gasschicht über der Photosphäre), von Protuberanzen (gewaltiger Gasausbrüche) und der Korona (der äußersten Atmosphärenschicht). Durch die Fotografie von Sonnenspektren zeigte sich etwa, dass eruptive Protuberanzen (Abb. 9) mit Geschwindigkeiten in der Größenordnung von 400km/s in die Sonnenatmosphäre schießen, einige Ausbrüche erreichten sogar mehr als 800km/s.

Außerdem wurden bei spektroskopischen Finsternisbeobachtungen Spektrallinien entdeckt, die keinem irdischen Element zugeordnet werden konnten. In der Chromosphäre entdeckte man im August 1868 das Helium, das nach dem griechischen Sonnengott Helios

► Abb. 9: Die weiße Region in der Chromosphäre ist der Ort eines starken Flares (oben), der eine gewaltige eruptive Protuberanz auslöst (unten).

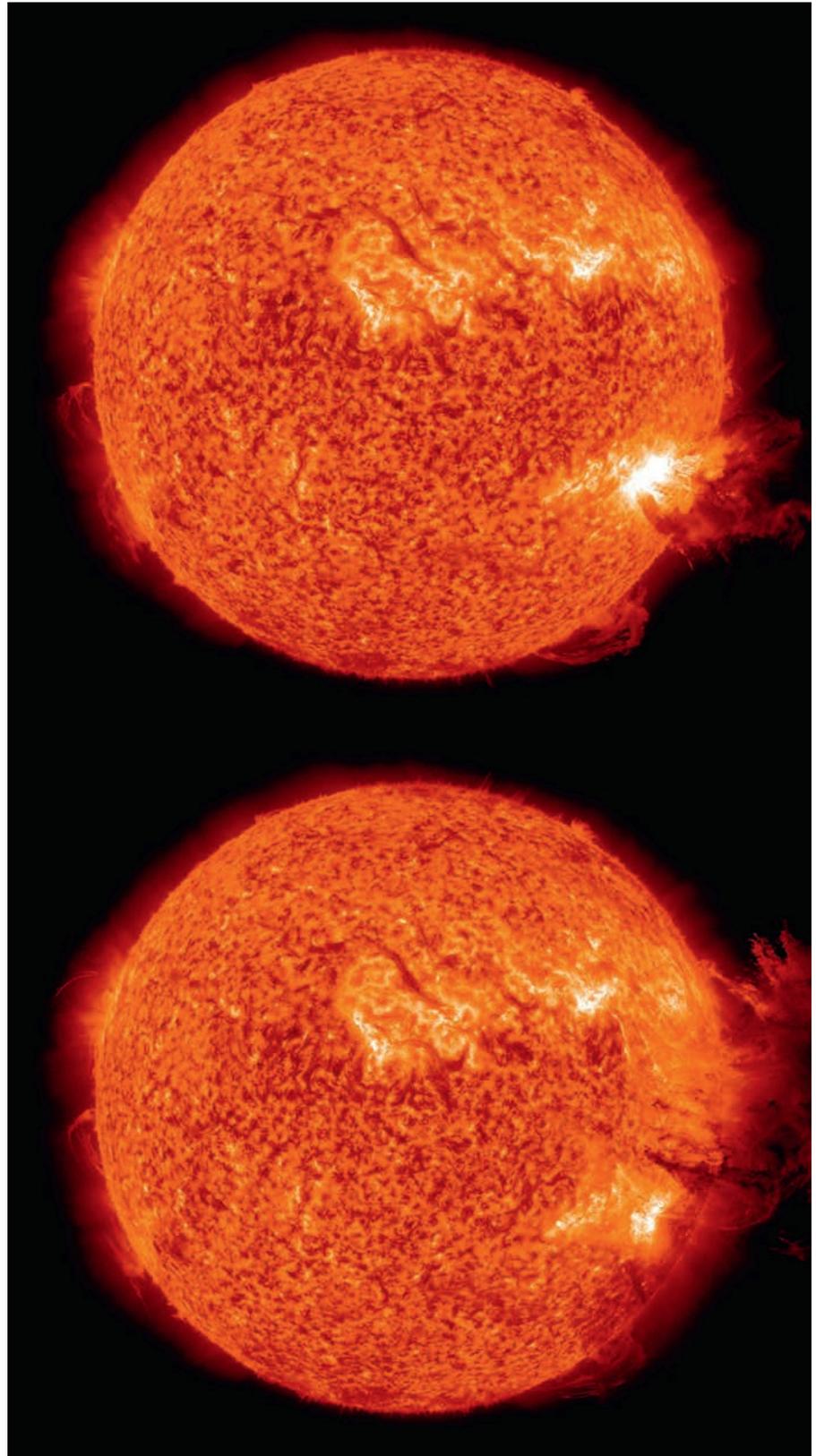
benannt wurde, und in Spektren der Korona fand man genau ein Jahr später ein entsprechendes als »Koronium« bezeichnetes Element. Erst 1939, 70 Jahre nach der Entdeckung, konnte die grüne Spektrallinie des Koroniums endgültig als 13-fach ionisiertes Eisen identifiziert werden, wodurch gleichzeitig das heute immer noch nicht vollständig gelöste Rätsel der Heizung der Sonnenkorona entstand. Denn dieses stark ionisierte Eisen ließ auf eine extreme Temperatur von über einer Million Grad Celsius schließen, obwohl die sichtbare Oberfläche unseres Sterns nur rund 6000°C beträgt.

Die magnetische Sonne

Die Idee von magnetischen Kräften auf der Sonne geht auf den niederländischen Physiker und Pfarrerssohn Pieter Zeeman zurück. Im Sommer 1896 fand er im Labor heraus, dass sich Spektrallinien durch starke Magnetfelder in zwei oder mehr Komponenten aufspalten lassen. Für seine Untersuchungen über den Einfluss von Magnetismus auf Strahlung erhielt Zeeman im Jahr 1902 den Physik-Nobelpreis. Wie er es in der 16-seitigen Veröffentlichung formulierte, hoffte der Physiker sogar, dass seine Laborexperimente auf die Sonne angewandt werden würden: Es sollte sich zeigen, wie »die magnetischen Kräfte an der Oberfläche der Sonne« die Fraunhoferlinien im Spektrum beeinflussen [4].

Der Astronom George Ellery Hale setzte diese Anregung in die Tat um und fand mittels des sog. Zeeman-Effekts heraus, dass die Sonnenflecken Orte starker Magnetfelder sein müssen. Als 21-jähriger Student am MIT hatte sich Hale 1890 in seiner Abschlussarbeit mit der Fotografie von Protuberanzen beschäftigt und entwarf dafür ein Instrument namens Spektroheliograf.

Mit seiner Erfindung konnte er schließlich im Mai und Juni 1908 bei Sonnenbeobachtungen am 18m-Turmteleskop des Mount-Wilson-Observatoriums erstmals Aufspaltungen der H α -Wasserstofflinie nachweisen [5]. Hale beobachtete sogar große Sonnenfleckengebiete mit 0,3 bis 0,4 Tesla (3000 bis 4000 Gauß) starken Magnetfeldern, was bereits das Erdmagnetfeld um das 6000- bis 8000-fache übertrifft. Später würdigte die englische Royal Society die Entdeckung als »wichtigste Sache in der solaren Astronomie seit 300 Jahren«. Die

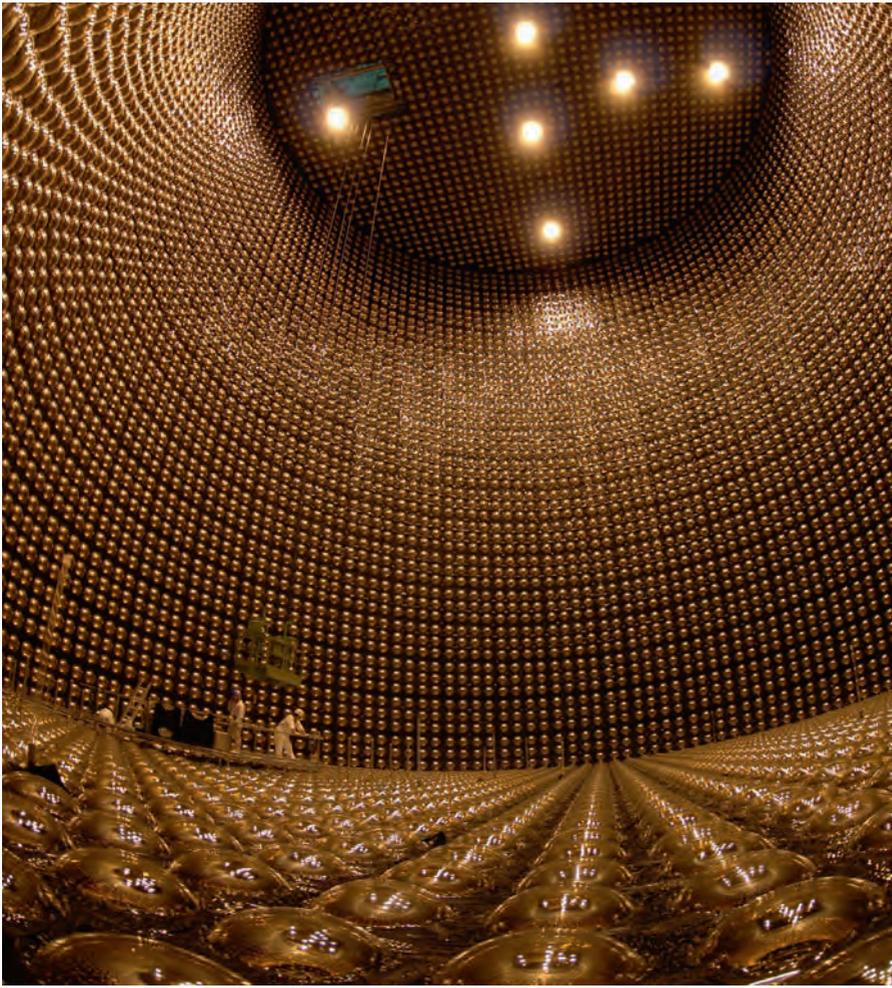


NASA/SDO and the AIA, EVE, and HMI science teams

weitere Erforschung zeigte, dass diese lokalen Magnetfelder den Energietransport zur Oberfläche behindern, weshalb die Sonnenflecken kühler sind – bis zu 1800°C – und dadurch schwarz erscheinen. Als Folge der starken Magnetfelder und der Bewegung des heißen Gases werden außerdem gewaltige Ströme induziert: bereits in einem Sonnenfleck von »nur« doppelter Erdgröße (siehe Abb. 1) liegt eine Stromstärke von Billionen Ampere an.

Einsteins Beweis

Nur ein Jahrzehnt nach Hales großer Leistung sollte eine noch größere aufsehenerregende Entdeckung folgen, die zudem zeigte, dass man die Sonne nicht nur direkt studieren kann, sondern dass sie sich auch als zweckmäßiges Hilfsmittel eignet. Auf einer Insel im Golf von Guinea vor der Küste Westafrikas verfolgte am 29. Mai 1919 eine Gruppe Astronomen



◀ Abb. 10: Der leere Wassertank der Detektoranlage Super-Kamiokande, mit dem u.a. das Neutrino-Rätsel gelöst wurde.

Gammaphotonen freigesetzt. Allerdings kann selbst bei 15 Mio. °C im Sonnenkern noch keine Kernfusion ablaufen, Protonen verschmelzen erst bei über 10 Mrd. °C.

Wie genau sich die Wasserstoffkerne verbinden, wollten die Göttinger Physiker Fritz Houtermans und Robert Atkinson herausfinden. Während eines Skiurlaubs am Arlberg in den Weihnachtsferien 1928 diskutierten sie zusammen mit George Gamov über Kernphysik. Der von Gamov entdeckte sogenannte Tunneleffekt war schließlich der Schlüssel zur Energiefreisetzung in Sternen: Mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit können Protonen die Barriere aus Abstoßungskräften überwinden – man spricht von »Durchtunneln«. Nur durch dieses Phänomen aus der Quantentheorie leuchtet unsere Sonne – unablässig für mehr als 10 Milliarden Jahre.

... Geisterpartikel im Sonnenkern

10 Jahre später haben Hans Bethe und Charles Critchfield (Proton-Proton-Kette) [7] sowie voneinander unabhängig Hans Bethe und Carl Friedrich von Weizsäcker (Bethe-Weizsäcker-Zyklus) [8, 9] die beiden in Sternen ablaufenden Fusionsreaktionen, in denen Wasserstoff zu Helium verschmolzen wird, beschrieben. Dass die Modelle zur Wasserstofffusion im Kernreaktor Sonne richtig sind, wurde z.B. durch den Nachweis von Neutrinos bestätigt, da diese vorhergesagten Teilchen bei der Energiefreisetzung entstehen. Obwohl auf der Erde 400 Billionen (4×10^{14}) Sonnenneutrinos pro Sekunde durch jeden Quadratmeter strömen, wechselwirken sie (fast) nicht mit normaler Materie, weshalb sie anders als Photonen die Sonne ungehindert verlassen können und darum gerne als Geisterpartikel bezeichnet werden.

Über den ersten Nachweis von solaren Neutrinos wurde 1968 berichtet, allerdings fand man nur etwa ein Drittel der berechneten Anzahl. Daraus folgte die Vermutung, dass sich Neutrinos auf ihrem Weg von der Sonne zur Erde in drei verschiedene Neutrino-Arten umwandeln können. Eine erste Bestätigung dieses Lösungsansatzes des Neutrino-Rätsels lieferte 1998 der in 1000m Tiefe gelegene japanische Teilchendetektor Super-Kamiokande [10]. Der Detektor besteht dabei aus einem 36m hohen und 34m breiten mit 50000t hochreinem Wasser gefüllten Tank, der mit über 11000 runden Lichtdetektoren bestückt ist (Abb. 10).

unter Leitung des Engländers Arthur Eddington zwischen Wolken eine fast siebenminütige totale Sonnenfinsternis. Sie wurde berühmt als experimentelle Bestätigung von Albert Einsteins theoretischen Arbeiten zur Allgemeinen Relativitätstheorie.

Im Vergleich mit einer Aufnahme des »ungestörten« Sternfeldes zeigte sich, dass es bei den Sternen nahe der verfinsterten Sonne eine winzige Positionsänderung gab. Sie entsprach etwa dem von Einstein vorhergesagten Wert von 1,7" und hatte weitreichende Folgen: Die Sonne konnte Lichtstrahlen von Hintergrundsternen ablenken, was bedeutete, dass Massen den Raum krümmen, wobei das Licht dieser Krümmung folgt. Diese Sonnenfinsternis veränderte unsere Vorstellung von Schwerkraft völlig und Einstein schrieb am 27. September 1919: »Liebe Mutter! Heute eine freudige Nachricht. H. A. Lorentz hat mir telegraphiert, dass die englischen Expeditionen die Lichtablenkung an der Sonne wirklich bewiesen haben.«

Quanteneffekt und ...

Erste physikalische Antworten auf die Frage nach der Energiequelle gab es Ende des 19. Jahrhunderts. Verbrennt die Sonne in

ihrem Inneren Kohle oder entsteht die Energie – wie es 1875 beschrieben wurde – »nach Helmholtz durch Zusammenziehung der Sonne und nach Mayer durch Einsturz von Asteroiden noch in unübersehbare Zeiten?« Der Gedanke, dass der tatsächliche Ursprung der Sonnenenergie auf der atomaren Ebene zu suchen ist, nahm wenig später seinen Anfang mit der Entdeckung der Radioaktivität. Ein Jahr nach seiner Sonnenfinsternis-Expedition wandte Arthur Eddington als erster Atomphysiker auf das Innere der Sterne an [6] und verkündete im August 1920 in Cardiff auf einer Versammlung von Physikern: »Was im Cavendish Laboratory möglich ist, ist in der Sonne vermutlich nicht allzu schwer.« Der englische Astrophysiker bezog sich auf Experimente, bei denen sich herausgestellt hatte, dass ein Heliumatom weniger wiegt als die Summe seiner vier Wasserstoffatome – ganz nach Aristoteles' Zitat »Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile«.

Bei der Verwandlung von Wasserstoff zu Helium wird der winzige Massenverlust von 0,75% als Strahlung frei, d.h., im Kern der Sonne werden in jeder Sekunde 564 Mio. t Wasserstoff zu 560 Mio. t Helium fusioniert, der Massendefekt von 4 Mio. t wird dabei als Strahlungsenergie in Form von hochenergetischen

Sonnenforschung damals und heute

Da der Mensch bereits seit Jahrtausenden die Sonne beobachtet, sie seit 400 Jahren mit dem Fernrohr studiert und seit rund 150 Jahren physikalisch beschreibt, kann hier nur ein kleiner Ausschnitt der vielseitigen Erforschung der Sonne dargestellt werden. Allein in den letzten 15 Jahren – seit der Entdeckung der sogenannten Neutrino-Oszillation – ist unser Stern zu einem noch viel komplexeren Studienobjekt für Physiker geworden. Mit Raumsonden wie SOHO, STEREO oder SDO und großen Sonnenteleskopen auf der Erde versucht man, mit immer neuen und empfindlicheren Instrumenten noch offene Fragen der Sonnenphysik zu beantworten. So konnten etwa Sonnenbeobachtung und Modellrechnung das Rätsel der Koronaheizung auch nach 74 Jahren noch nicht endgültig lösen.

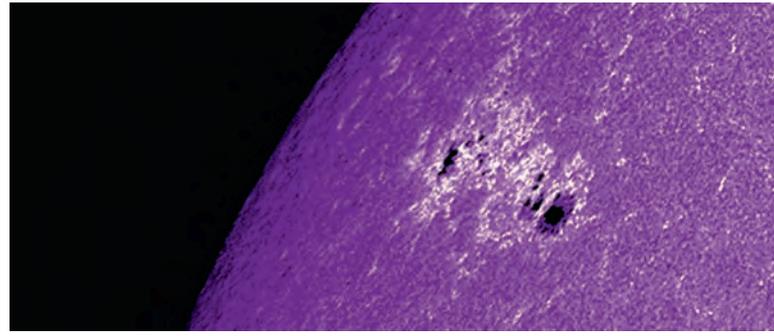
In der Antike wurde die strahlende Himmelscheibe als Lebensspender von makelloser Schönheit verehrt, heute dagegen versucht man zu verstehen, wie die Krone des Sonnengottes eine Temperatur von bis zu 4 Mio. °C erreicht. Und das ist nur ein Beispiel dafür, warum die Sonnenforscher heute noch immer unser Heimatgestirn beobachten und auf neue Entdeckungen hoffen – ganz nach Hans Carrossas Worten: »Schleift nur Gläser, schmiedet Röhren – Meine Wandlung zu belauern!«

- [1] Hildebrandt, D.: Die Sonne, Deutscher Taschenbuch Verlag, München (2010)
- [2] Schmidt, N.: Die Entzifferung des Sternlichts, interstellarum Thema: Astronomische Entdeckungen, 12, (2011)
- [3] Carrington, R.: Description of a Singular Appearance seen in the Sun on September 1, 1859, MNRAS 20, 13 (1859)
- [4] Zeeman, P.: On the Influence of Magnetism on the Nature of the Light Emitted by a Substance, Astrophys. J. 5, 332 (1897)
- [5] Hale, G.E.: On the Probable Existence of a Magnetic Field in Sun-Spots, Astrophys. J. 28, 315 (1908)
- [6] Eddington, A. S.: The Internal Constitution of the Stars, The Observatory 43, 341 (1920)
- [7] Bethe, H., Critchfield, C.: The Formation of Deuterons by Proton Combination, Phys. Rev. 54, 248 (1938)
- [8] Bethe, H.: Energy Production in Stars, Phys. Rev. 55, 103 (1938)
- [9] von Weizsäcker, C. F.: Über Elementumwandlungen im Innern der Sterne, Physikalische Zeitschrift 39, 633 (1938)
- [10] Fukuda, Y. et al.: Evidence for oscillation of atmospheric neutrinos, Phys. Rev. Lett. 81, 1562 (1998)

Wichtige Entdeckungen der Sonnenforschung

Jahr	Stationen der Beobachtung und Erforschung der Sonne
3340 v. Chr.	In Irland wird in Steinritzungen eine Sonnenfinsternis festgehalten
2136 v. Chr.	In China wird die erste Sonnenfinsternis schriftlich dokumentiert
1600 v. Chr.	Die Himmelscheibe von Nebra wird geschmiedet
1400 v. Chr.	Der Sonnenwagen von Trundholm entsteht
1350 v. Chr.	Nach Pharao Echnaton ist die Sonne der einzige Gott
585 v. Chr.	Thales von Milet, für den die Sonne »feurig« ist, berechnet eine Sonnenfinsternis voraus
450 v. Chr.	Herakleides von Pontus lässt Merkur und Venus um die Sonne kreisen
290 v. Chr.	Zu Ehren des Sonnengottes Helios entsteht der 33m hohe Koloss von Rhodos
250 v. Chr.	Aristarch beschreibt als Erster ein heliozentrisches Weltbild
1514	Kopernikus veröffentlicht sieben Axiome als Grundstein seiner heliozentrischen Theorie
1543	Kopernikus' Hauptwerk erscheint, in dem die Sonne ins Zentrum gerückt wird
1608	Erfindung des Fernrohrs
1610	Unabhängig voneinander entdecken Galilei und andere Beobachter die Sonnenflecken
1761 und 1769	Aus den beiden beobachteten Venustransits folgt ein näherungsweise richtiger Wert für den Abstand Erde-Sonne
1800	Bei der Sonnenbeobachtung entdeckt Wilhelm Herschel die Infrarotstrahlung
1802	Die Sonnenmasse wird auf exakt 342936 Erdmassen (heutiger Wert 332943 Erdmassen) berechnet
1814	Mit einem Prismenspektrometer studiert Joseph Fraunhofer systematisch die Spektrallinien im Sonnenlicht
1843	Schwabe entdeckt den 11-Jahres-Zyklus der Sonnenflecken
1845	Foucault und Fizeau gelingt das erste Foto der Sonne
1859	Erste Beobachtung eines Flares durch Carrington und Hodgson
1860	Kirchhoff und Bunsen begründen die Spektralanalyse und damit die Astrophysik
1863	Die differenzielle Rotation der Sonne wird entdeckt
1868	Entdeckung unbekannter Spektrallinien in Chromosphäre und Korona
1908	Hale erklärt mit dem Zeeman-Effekt, dass Sonnenflecken starke Magnetfelder enthalten
1919	Bau des Einsteinturms beginnt: Europas erstes Teleskop zur Sonnenbeobachtung
1920	Kernfusion wird als Energiequelle der Sonne angenommen
1928	Das quantenmechanische Phänomen des Tunneleffekts wird entdeckt
1929	Mit dem Tunneleffekt wird die Kernfusion als Energiequelle der Sonne erklärt
1930	Das Neutrino wird postuliert
1938	Die zwei Kettenreaktionen des Wasserstoffbrennens in Sternen werden beschrieben
1939	Entdeckung der extrem heißen Korona und Beginn des Rätsels um die Koronaheizung
1960	Beginn der Helioseismologie
1967	In der Homestake-Mine beginnt ein Experiment zum Nachweis von Sonnenneutrinos
1968	Zu wenig Neutrinos werden gefunden, woraus das Neutrino-Problem entsteht
1995	Der Sonnenerkunder SOHO startet und ist immer noch in Betrieb
1998	Erste Hinweise auf die sog. Neutrino-Oszillation mit dem Super-Kamiokande-Detektor
2006	Das Satellitenduo STEREO startet, mit dem die Sonne dreidimensional untersucht werden kann
2010	Als SOHO-Nachfolger startet die NASA den Sonnenbeobachter SDO
2012	Auf Teneriffa wird mit GREGOR das größte Sonnenteleskop Europas eingeweiht

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



Die Sonne im Teleskop

Richtig einsteigen in die Sonnenbeobachtung und -fotografie

von Ullrich Dittler

U.Dittler

Die seit einiger Zeit wieder zunehmende Aktivität der Sonne lädt dazu ein, die täglich wechselnde Ansicht der Sonne zu verfolgen und fotografisch zu dokumentieren. Neben der Beobachtung im Weißlicht bieten auch die Beobachtung und Fotografie im Wasserstoff- und im Kalzium-Licht für engagierte Sonnenbeobachter spannende Ansichten. Spezialfilter für diese Anwendungen sind heute preiswert wie nie – Grund genug auch für Einsteiger, die Sonne regelmäßig aufs Korn zu nehmen.

Eigentlich ist die Sonne – astronomisch gesehen – nichts Besonderes: Sie ist ein Stern, wie es alleine in unserer Galaxis etwa 100 Milliarden gibt. Dieser Stern ist ständig in Bewegung – zum einen bewegt sich die Sonne um das galaktische Zentrum und zum anderen findet auf ihr ein sehr aktives und beeindruckendes Inferno statt – das jeden Tag bereits mit kleinen Instrumenten zu beobachten ist.

Während in der professionellen Sonnenbeobachtung auch Beobachtungen im Bereich der Natrium-D-Line (bei 589,5nm) und im Bereich der Helium-D3-Line (bei 587,5nm) eine Rolle spielen, sind für den Amateur vor allem Beobachtungen im Weißlicht, also dem gesamten sichtbaren Spektrum vom violetten bis zum roten Licht, das in seiner Gesamtheit weiß erscheint, im roten H α -Licht (656,28nm) und im violetten CaK-Licht (393,4nm) interessant. Für die Sonnenbeobachtung in diesen Linien gibt es ein breites Angebot an unterschiedlichen Filtern für Amateure.

Weißlicht: Filter

Die zentrale Herausforderung bei der Sonnenbeobachtung ist der angemessene Umgang mit der ungeheuren Strahlungsenergie der Sonne: Zur Sonnenbeobachtung müssen sowohl Licht- als auch Wärmestrahlung abgeschwächt oder herausgefiltert werden. Da schon ein kleineres Teleskop mit nur 60mm Öffnung das rund 70-fache Lichtsammelvermögen des menschlichen Auges (mit einem Pupillendurchmesser von 3mm bis 7mm) hat, ist sofort einsichtig, dass die Sonnenbeobachtung ohne Schutzfilter bereits bei kleinen Teleskopen zum sofortigen Erblinden führt. Aber selbst mit bloßem Auge sollte man die Sonne nicht ohne geeigneten Filter (z.B. eine Sonnenfinsternisbrille) beobachten, da die von der Sonne ausgesendete UV- und Infrarot-Strahlung das Auge schädigt.

Bei mittleren Teleskopen steigt das Lichtsammelvermögen schnell auf das 800-fache (bei einem klassischen Schmidt-Cassegrain-Teleskop mit 200mm Öffnung) und reicht bei größeren Öffnungen problemlos zum raschen Entzünden einer hölzernen

◀ Abb. 1: Unser Tagesgestirn ist in drei Spektralbereichen für Amateurastronomen beobachtbar: Weißlicht (oben links), Kalzium-Licht (oben rechts) und H α -Licht (unten). Alle drei Aufnahmen stammen vom 31.7.2012 und zeigen dieselbe Region auf der Sonne.

BASISWISSEN

Steckbrief Sonne

Vor etwa 4,6 Milliarden Jahren formten sich Sonne und die Planeten unseres Sonnensystems aus einer riesigen interstellaren Gas- und Staubwolke. Etwa 1,5 Milliarden Jahre nach Beginn der Kontraktion dieser Wolke setzte im Zentrum bei Temperaturen von 10 bis 15 Millionen Grad Celsius die Kernfusion von Wasserstoff zu Helium ein. Dabei werden pro Sekunde rund 4 Millionen Tonnen Materie in Energie verwandelt. 10 Milliarden Jahre kann die Sonne ihren Energiebedarf auf diese Weise decken, bevor merkliche Veränderungen eintreten.

99% der Masse im Planetensystem sind in der Sonne konzentriert, aber nur 1% des Drehimpulses: Für eine Rotation um ihre Achse benötigt die Sonne am Äquator 25 Tage und am Pol 30 Tage. Der innere Aufbau der Sonne wird durch das Gleichgewicht von Gasdruck und Gravitation bestimmt. Ferner muss die Energie, die im Zentrum erzeugt wird, nach außen transportiert und abgestrahlt werden. Daraus ergibt sich der Aufbau der Sonne: Über dem Kern mit einem Durchmesser von 170000km erstreckt sich die 550000km mächtige Strahlungszone, in der die im

Kern erzeugte Energie durch Strahlung nach außen transportiert wird. In der äußeren 130000km mächtigen Konvektionszone schließlich wird die Energie durch Konvektion transportiert: Heiße Gasblasen steigen auf, kühlen ab und sinken schließlich wieder ab. Die Konvektionszone reicht bis an die Oberfläche der Sonne, die Photosphäre, heran. Aus dieser nur 400km dicken Schicht gelangt sichtbares Licht schließlich zum Beobachter, die Temperatur beträgt dort »nur noch« rund 5500°C bis 6000°C.

Oberhalb der Photosphäre liegt die etwa 2000km dicke Schicht der Chromosphäre, innerhalb derer die Temperatur wieder auf etwa 10000°C ansteigt. Beobachtungen der Chromosphäre bedürfen spezieller Instrumente (H α -Teleskope oder -Filter), da ihre Emission nur einige Promille derjenigen der Photosphäre beträgt und sonst von dieser überstrahlt wird. Im Bereich der Sonnenkorona, der äußersten Atmosphärenschicht der Sonne, steigt die Temperatur nochmals auf 1 bis 2 Millionen Grad an; die Korona ist von der Erde aus bei einer totalen Sonnenfinsternis zu beobachten.

Wäscheklammer und zum Verflüssigen von Blei im Brennpunkt der zentralen Teleskopoptik. Zur Vermeidung von irreparablen Augenschäden sowie zur Beobachtung der verschiedenen Phänomene der Photosphäre und der Chromosphäre ist daher eine geeignete Dämpfung der Strahlung (auch der nicht sichtbaren UV- und IR-Strahlung) der Sonne unumgänglich!

Glas oder Folie

Die einfachste Art der Lichtdämpfung zur Sonnenbeobachtung ist der Einsatz eines Objektivfilters, der vorn auf das Teleskop aufgesteckt wird. Dieser reduziert das in die Optik eintretende Licht auf einen Bruchteil der Strahlung und ermöglichen damit die gefahrlose Sonnenbeobachtung. Dabei unterscheidet man Sonnenfilterfolien, die nicht nur in einfachen Sonnenbeobachtungsbrillen Verwendung finden, und aufsteckbare Glassonnenfilter. Aus den Filterfolien lassen sich innerhalb weniger Minuten Objektivfilter für

Fernrohre herstellen, aber auch nahezu jedes vorhandene Fotoobjektiv kann für die Sonnenbeobachtung mit einem entsprechenden Objektivfilter aus einem Stück Sonnenfilterfolie ausgerüstet werden.

Die Glassonnenfilter sind für verschiedene Teleskoptypen erhältlich, wobei sich zwei verschiedene Ausführungen unterscheiden lassen: die vollflächigen Glasfilter, die jedoch mit zunehmender Teleskopöffnung recht schnell sehr teuer werden und – alternativ dazu – Filter mit exzentrischer Öffnung, die vor allem für den Einsatz an größeren SC- und Newton-Teleskopen entwickelt wurden, um die bei Spiegelteleskopen durch den Sekundärspiegel und dessen Aufhängung entstehende Obstruktion und Beugung zu vermeiden.

Alternativen für Fotografen

Während für die visuelle Nutzung in einfachen Sonnenbeobachtungsbrillen und Objektivfiltern für Fernrohre und

UDittler



◀ Abb. 2: Die Beobachtung und Fotografie der Sonne erfordert in jedem Fall einen Filter: z.B. Glas- und Folienfilter (a) oder Herschelprismen (b) für die Weißlicht-Beobachtung und spezielle Ha-Filter für die Beobachtung von Protuberanzen und Flares (c).

üblicherweise nur 0,03% bis 0,001% der Strahlung passieren), basieren Herschelprismen auf einer anderen Funktionsweise: Sie werden vor dem Okular oder der Kamera in den Strahlengang eines Refraktors eingebracht und leiten den größten Teil der Sonnenenergie ab, während nur ein sehr kleiner Teil zur Betrachtung zum Okular reflektiert wird: Im Strahlengang eines Herschelprismas wird das Licht hierzu an einer Fläche gebrochen und reflektiert, so dass immer noch eine größere Lichtmenge, knapp 5%, Richtung Okular gelenkt wird; eine weitere Filterung vor dem Okular ist daher dringend notwendig!

Üblicherweise wird dafür ein okularseitiges Polfilter verwendet, das das teilpolarisierte Licht des Herschelprismas weiter stufenlos reduzieren kann; alternativ ist auch der Einsatz eines Graufilters möglich. Bei Verwendung eines Herschelprismas müssen so aber mehr als 95% der durch das Teleskop gebündelten Strahlungsenergie ohne Gefährdung des Beobachters »entsorgt« und abgeleitet werden. Hierfür wurden früher Hilfsspiegel und sogenannte Lichtfallen eingesetzt, die das Licht unter bzw. neben das Teleskop reflektierten und streuten – derartige Lichtaustritte mussten aus Sicherheitsgründen stets so ausgerichtet werden, dass ein versehentliches Hineinblicken nicht möglich ist. Bei der Konstruktion moderner Herschelprismen wird diese Energie in der Regel auf eine im Prisma positionierte Keramik- oder Metallplatte geleitet, die die Energie aufnimmt und sich dabei erwärmt.

Der Einsatz eines Herschelprismas in der Sonnenbeobachtung empfiehlt sich vor allem dann, wenn – visuell oder fotografisch – mit großen Vergrößerungen (z.B. durch Okularprojektion) gearbeitet werden soll: Herschelprismen weisen in der Regel eine höhere Transmission als Folien- und Glassonnenfilter auf und somit steht auch

◀ Abb. 3: Eine große Fleckengruppe in hoher Auflösung. Das Feindetail verändert sich binnen weniger Minuten, die gesamte Gruppe merklich schon am nächsten Tag. 5,1"-Refraktor bei 2000mm Brennweite, Herschelprisma, 250 von 2000 Bildern verwendet.

-gläser Filter mit der Dichte 5 verwendet werden, ist für den fotografischen Einsatz ein Filter der Dichte 3,8 zu empfehlen: Derartige fotografische Sonnenfilter lassen deutlich mehr Licht passieren und ermöglichen damit kürzere Belichtungszeiten, die wiederum die Unruhe der Luft »einfrieren« können und so zu schärferen Abbildungen führen.

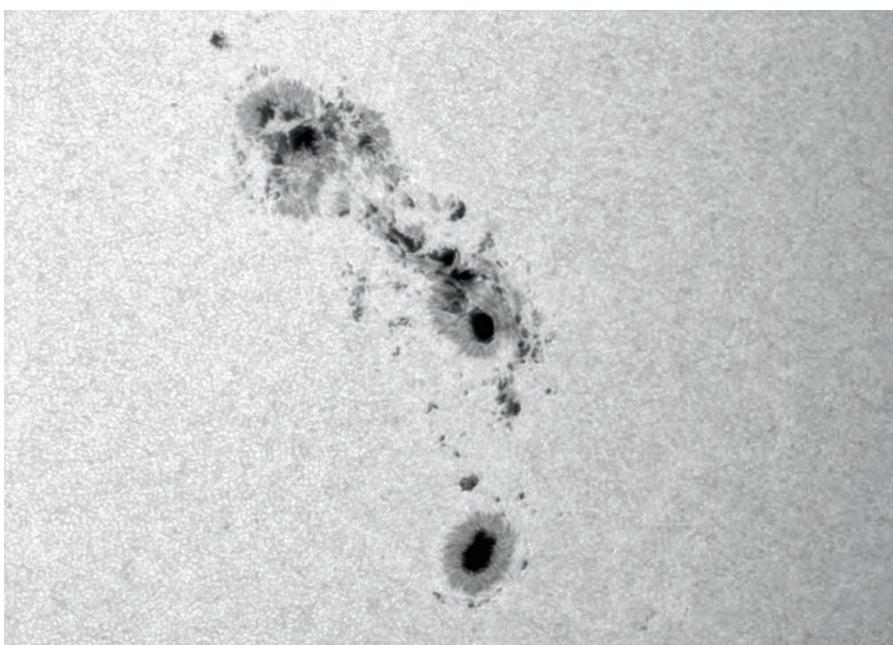
Eine Alternative zu Folien- oder Glasfiltern sind qualitativ hochwertige Herschelprismen zur Sonnenbeobachtung. In Kombination mit verschiedenen Grau- oder

Polfiltern lässt sich mit einem Herschelprisma sehr viel feiner die zur Beobachtung oder Fotografie durchgelassene Lichtmenge dosieren und so beispielsweise der Empfindlichkeit der verwendeten Kamera exakt anpassen.

Herschelprisma

Während ein Glas- oder Folienfilter vor dem Objektiv den größten Teil der Strahlung bereits vor dem Eintritt ins Teleskop ausfiltert (Glas- und Folienfilter lassen

UDittler



Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

► Abb. 4: Protuberanzen sind spektakuläre Erscheinungen, die innerhalb weniger Minuten aufsteigen können. 5,1"-Refraktor bei 1000mm, Coronado Solarmax90, 250 von 2000 Bildern verwendet.

mehr Licht zur Beobachtung oder Fotografie zur Verfügung. Dies ermöglicht auch bei längeren Brennweiten und bei Okularprojektion noch kurze Belichtungszeiten. Auch entfällt meist eine zusätzliche Komponente im Strahlengang, da die Herschelprismen gleichzeitig die Funktion eines Zenitprismas übernehmen.

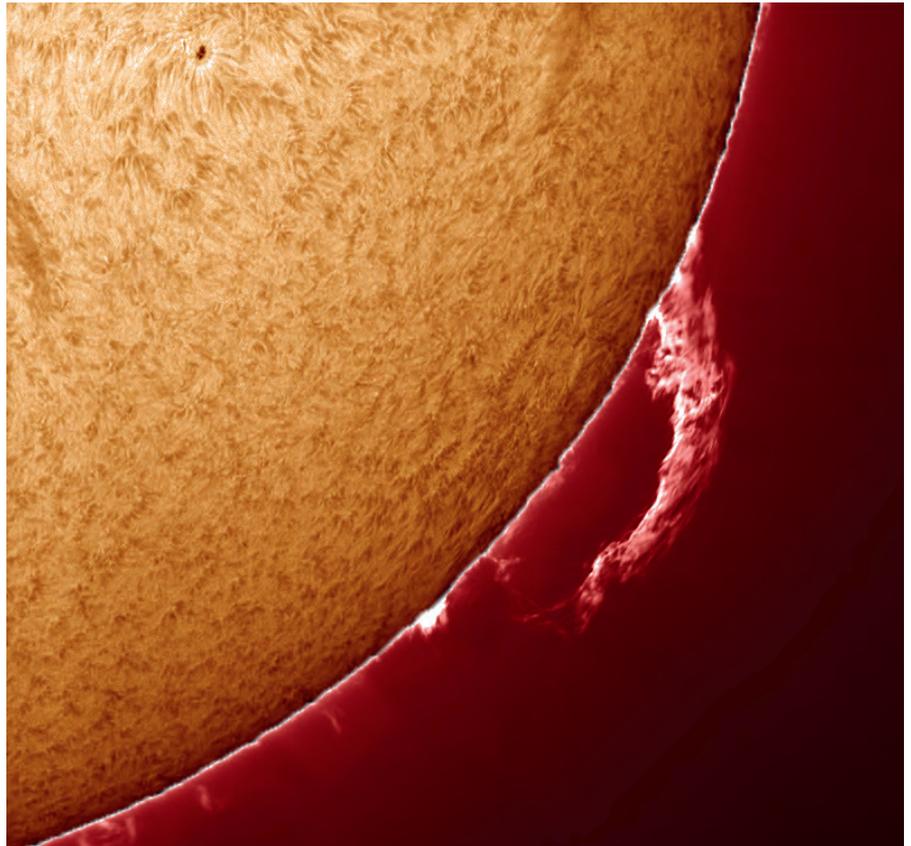
Da bei der Verwendung von Herschelprismen jedoch zunächst die gesamte Sonnenenergie das Teleskop durchläuft und zudem im Bereich des Okularauszugs gebündelt wird, ist vor der Verwendung zu prüfen, ob im Teleskopinneren oder im Okularauszug Kunststoff verbaut ist. Ist dies der Fall, so sollte man von der Verwendung eines Herschelprismas absehen, um nicht zu riskieren, dass die Kunststoffkomponenten durch die massiv gebündelte Sonnenenergie beschädigt werden.

Flecken ...

Beim Blick durch ein mit einem Sonnenfilter oder Herschelprisma ausgestattetes Teleskop fallen sofort Sonnenflecken auf. Sie stellen kühlere Stellen der Photosphäre dar, deren Temperatur um etwa 1000°C unterhalb der Umgebungstemperatur liegt. Die Form, Größe und Gestalt der einzelnen Sonnenflecken kann sich kontinuierlich und individuell verändern, während die Anzahl der auftretenden Sonnenflecken einem elfjährigen Zyklus unterworfen ist (bedingt durch die rund alle 11 Jahre stattfindende Umpolung des Magnetfeldes der Sonne): Wie die seit Jahrhunderten betriebene Beobachtung der Sonnenflecken zeigt, wechseln sich Zeiten zahlreicher Sonnenflecken sehr regelmäßig mit Zeiten weniger Sonnenflecken ab.

Die zentralen dunkleren Bereiche der Sonnenflecken (Umbra) erscheinen meist scharf begrenzt und werden bei größeren Flecken häufig durch einen, Penumbra genannten, helleren Bereich umgeben. Sonnenfleckengruppen haben hierbei nicht selten zwei Zentren und werden daher

► Abb. 5: Im Kalzium-Licht lassen sich Fackelgebiete besonders gut fotografieren. 5,1"-Refraktor bei 1000mm, Lunt CaK-Modul 600, 250 von 2000 Bildern verwendet



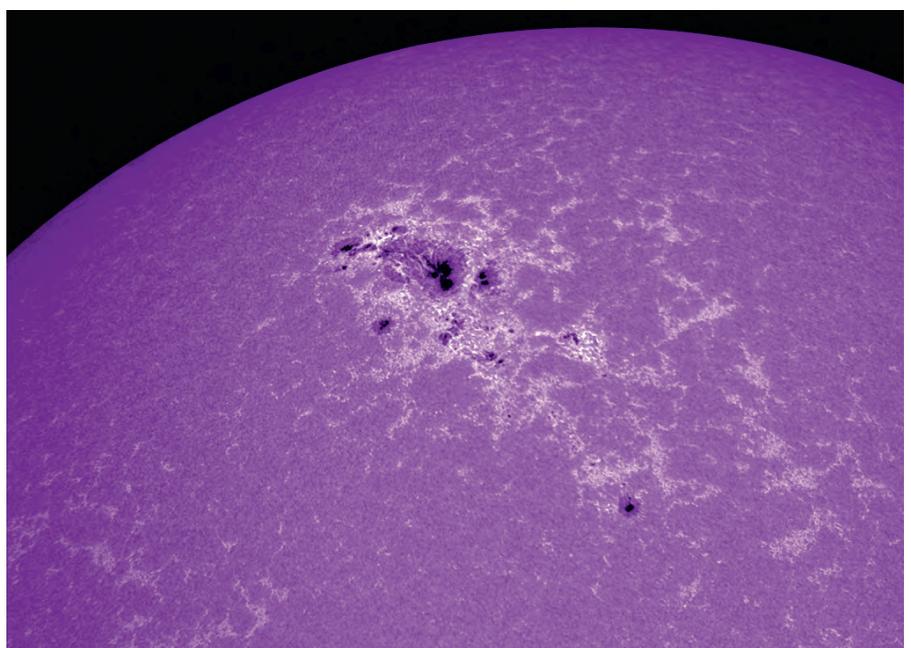
»bipolare Gruppen« genannt. Innerhalb der Umbra einzelner Flecken sind darüber hinaus zeitweise hellere Lichtbrücken zu erkennen. Zur Beschreibung des Aussehens eines Sonnenflecks bzw. einer Fleckengruppe hat sich die Klassifikation nach Max Waldmeier durchgesetzt, die die Flecken in die Klassen A bis J einteilt.

... und Fackeln

Während Sonnenflecken kühlere Stellen der Sonnenoberfläche darstellen, sind

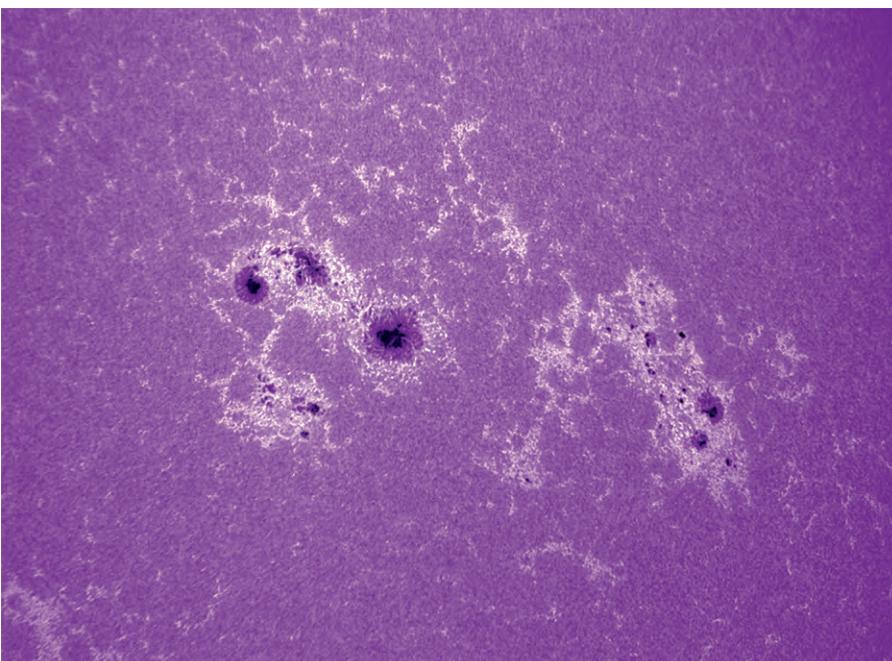
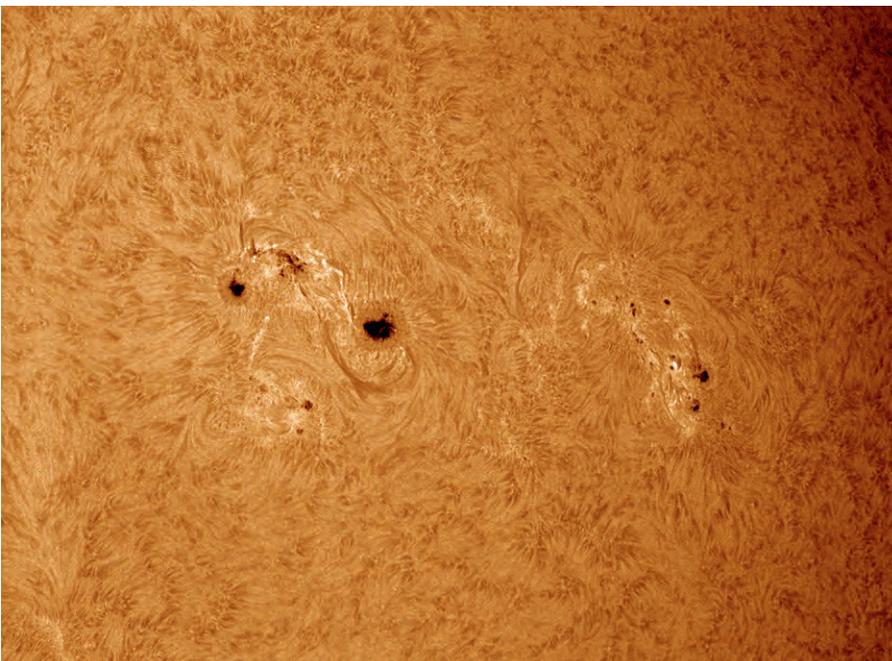
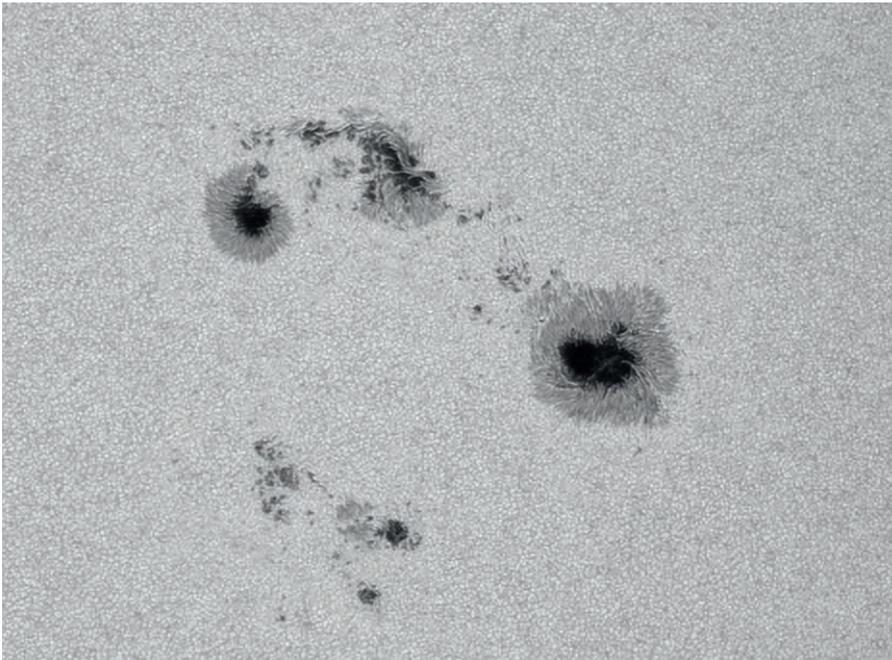
Sonnenfackeln um etwa 1000°C heißere Stellen der Photosphäre. Diese photosphärischen Fackeln treten in der Regel zusammen mit Sonnenflecken auf und sind daher in deren Umfeld auch leicht zu beobachten.

Da Fackeln bereits vor den Flecken auftreten können, können sie Hinweise darauf geben, wo mit dem Erscheinen neuer Sonnenflecken zu rechnen ist. Bedingt durch den geringen Helligkeitsunterschied zwischen Fackeln und deren Umgebung ist eine Beobachtung im Bereich des Sonnenrandes und der dort zu beobachtenden



UDITIER

UDITIER



Randverdunkelung für den Amateur einfacher als eine Beobachtung der Fackeln im Zentrum der Sonnenscheibe.

Mit Teleskopen ab einer Öffnung von 100mm kann bei gutem Seeing auch die granulare Oberfläche der Sonne beobachtet werden: Bei den einzelnen Granulen handelt es sich um kurzlebige, auf- und absteigende Gasblasen mit Durchmessern von rund 1000km. Diese steigen mit einer Geschwindigkeit von mehreren Kilometern pro Sekunde an die Oberfläche und sinken nach der Energieabstrahlung wieder in die Tiefe. Bei der visuellen Beobachtung der Granulen wird das Aufsteigen und Absinken durch die brodelnde Oberfläche deutlich.

Alle diese Erscheinungen auf der Sonne verändern sich kontinuierlich, so dass es spannend ist, die Veränderungen täglich zu beobachten oder fotografisch zu dokumentieren.

Sonne in Rot

Obwohl die Chromosphäre über der Photosphäre liegt, ist deren Beobachtung deutlich schwieriger, da ihre Leuchtkraft nur einen Bruchteil der Leuchtkraft der Photosphäre beträgt. Interessant ist die Beobachtung der Chromosphäre vor allem, da sie hauptsächlich Licht nur einer Wellenlänge (656,28nm) des Wasserstoffatoms aussendet und in diesem so genannten H α -Licht interessante Phänomene zu beobachten sind: Mit entsprechenden H α -Filtern werden Protuberanzen und Filamente ebenso sichtbar wie chromosphärische Fackelgebiete und Sonnenflares.

Die bei der H α -Beobachtung gesetzte Filterungstechnik greift dabei die Ideen auf, auf die 1890 der Amerikaner Hale und der Franzose Deslandres fast gleichzeitig kamen: Um das Licht der Chromosphäre beobachten zu können, muss aus dem gesamten Bereich des sichtbaren Sonnenlichtes mit einem entsprechenden Filter das Licht der blauen CaII-K-Linie oder der roten H α -Linie herausgefiltert werden. D.h. aus dem sichtbaren Licht, das rund 400nm umfasst, müssen weniger als 0,1nm gezielt herausgefiltert werden, wobei auch das rund 10000-mal hellere Licht der Photosphäre entsprechend gedämpft wird.

◀ Abb. 6: Eine große Fleckengruppe am 15.6.2012 im Vergleich in allen drei Spektralbereichen.

Filter oder Teleskop?

Die Öffnung und die Bandbreite des eingesetzten H α -Filters sind verantwortlich für die zu erwartende Detailfülle bei der Beobachtung. Zunächst macht der H α -Filter nichts anderes, als nur Licht bestimmter Wellenlängen passieren zu lassen: im Falle eines H α -Filters eben nur das Licht, das entsteht, wenn ein Elektronenübergang des Wasserstoffs von der 3. auf die 2. Schale des Atoms stattfindet. Für die Wirksamkeit eines solchen Filters gilt folgende vereinfachende Regel: Filter mit einer Halbwertsbreite $>0,1\text{nm}$ ($1,0\text{\AA}$) zeigen nur Protuberanzen am Sonnenrand, während mit Filtern zwischen 10nm und 8nm auch Filamente und Fackelgebiete auf der Oberfläche der Sonne sichtbar werden. In noch engbandigeren Filtern werden die Einzelheiten der Oberfläche deutlicher, die Protuberanzen am Rand jedoch schwächer. Um letzteren Effekt zu umgehen, kann man auch zwei Filterelemente kombinieren, diese recht teure Methode wird als »Double Stacking« bezeichnet.

Neben H α -Filtern zur Adaption an vorhandene Teleskope sind auch komplette H α -Sonnenteleskope und -okulare verfügbar, die speziell für die Lichtbrechung des H α -Lichtes berechnet wurden. H α -Teleskope werden dabei mit Objektivdurchmessern zwischen 35mm und 230mm im Handel angeboten; alternativ sind auch unterschiedliche H α -Filtersets für die Adaption an vorhandene Teleskope verfügbar. Die Preise beginnen bei ca. 800€ – eine vertretbare Summe für den, der das täglich wechselnde Spiel der Protuberanzen sehen will.

Beobachtung der Chromosphäre

Der erste Blick durch ein H α -Teleskop ist für viele Sternfreunde mindestens genauso faszinierend wie der erste Anblick des Saturn im Teleskop: Mit einem Blick wird das faszinierende dynamische Spiel von Protuberanzen ebenso sichtbar wie jenes von chromosphärischen Fackelgebieten und Sonnenflares; mehr noch als bei den Sonnenflecken der Photosphäre wird bei einem Blick durch ein H α -Teleskop deutlich, welche dynamischen Prozesse die Sonne bestimmen!

Am auffälligsten sind hierbei die Protuberanzen, riesige Wolken aus Wasserstoffgas, die meist in enger Verbindung zu Sonnenflecken stehen und im Mittel Höhen von einigen 10000km erreichen. Diese eindrucksvollen Gebilde sind mit den preiswerteren Instrumenten am besten am Rand

der Sonnenscheibe zu beobachten (Protuberanzen, die nicht am Sonnenrand, sondern vor der Sonnenscheibe auftreten, werden Filamente genannt). So genannte eruptive oder aktive Protuberanzen steigen mit Geschwindigkeiten von ca. 1000km/s in die Korona auf und erreichen dabei nicht selten Höhen von hunderttausend Kilometern, in Extremfällen auch Höhen von 1 bis 2 Millionen Kilometern. Das imposante Schauspiel der Veränderung der Form und der Intensität solcher Protuberanzen, die vermutlich auf Instabilitäten im Magnetfeld zurückzuführen sind, ist manchmal bereits innerhalb weniger Sekunden zu beobachten.

Ähnlich, wie er es schon erfolgreich für Sonnenflecken gemacht hatte, versuchte Max Waldmeier auch Protuberanzen zu klassifizieren, kam aber 1942 zu dem Schluss, dass der Formenreichtum so groß ist, »... dass es nicht möglich ist, eine allgemein zutreffende Beschreibung zu geben«. Aber gerade diese Formenvielfalt macht die Beobachtung und Fotografie der Sonne im H α -Licht so attraktiv und spannend.

Sonne in Violett

So wie die Ansicht der Sonne im schmalen Band des H α -Lichtes sich deutlich von der Ansicht im Weißlicht unterscheidet, so unterscheidet sich auch die Ansicht im Kalzium-Licht von der Ansicht in H α . Die Beobachtung und Fotografie der Sonne in der violetten Kalzium-Linie (bei $393,4\text{nm}$) erlebte vor einigen Jahren einen deutlichen – aber vorübergehenden – Aufschwung. Eine Schwierigkeit der visuellen Beobachtung der Sonne in der Kalzium-Linie liegt darin, dass das menschliche Auge mit zunehmendem Alter in diesem Bereich weniger empfindlich wird und so viele (ältere) Menschen Details visuell nicht mehr so gut wahrnehmen können. Digitale Detektoren sind in diesem Bereich jedoch in der Regel ausreichend empfindlich, so dass eine fotografische Dokumentation der Sonne im Kalzium-Licht gut möglich ist.

Fazit

Den preiswertesten Einstieg in die Sonnenbeobachtung bildet in der Regel der Einsatz eines Foliensonnenfilters zur Beobachtung der Sonne im Weißlicht. Dies ist zweifellos ein guter Einstieg in die visuelle Sonnenbeobachtung; Amateure mit fotografischen Ambitionen sollten jedoch über die Anschaffung eines hochwertigen Herschelprismas nachdenken.

Eine lohnende Bereicherung stellt die Beobachtung der Sonne im H α -Licht dar – und mit nur wenig planerischem Aufwand und Überlegungen bei der Beschaffung der geeigneten Filter kann ein vorhandenes Teleskop zur Beobachtung von Protuberanzen und Flares eingesetzt werden, ohne dass zwischen den Beobachtungen jeweils ein großer Umbauaufwand notwendig ist: Aufeinander und auf das verwendete Teleskop abgestimmte Komponenten, die dann jeweils an einer voreingestellten Fokusposition betrieben werden können, ermöglichen den Wechsel innerhalb weniger Minuten. Für den engagierten Sonnenfotografen ist schließlich die Ausweitung auf das violette Kalzium-Licht eine interessante Option.

WARNUNG



Okularfilter sind nicht sicher!

Bei preiswerten (Kaufhaus-) Fernrohren werden manchmal Okularsonnenfilter mitgeliefert, für die es nur eine Verwendung gibt: sofort wegwerfen! Das Lichtsammelvermögen von Teleskopen ist beachtlich. Wenn diese gesamte Energie nahe am Okularfilter gebündelt wird, so entstehen Temperaturen, die derartige Filter schmelzen oder platzen lassen und damit zum sofortigen Erblinden des Beobachters führen können. Aber auch wenn die Filter der Hitze standhalten, führt die Erwärmung der Filter zu Turbulenzen innerhalb des Teleskoptubus, die die Bildqualität ganz erheblich beeinträchtigen können. Verwenden Sie solche Filter deshalb selbst dann, wenn sie mit Ihrem Teleskop mitgeliefert werden, niemals!

SURFTIPPS

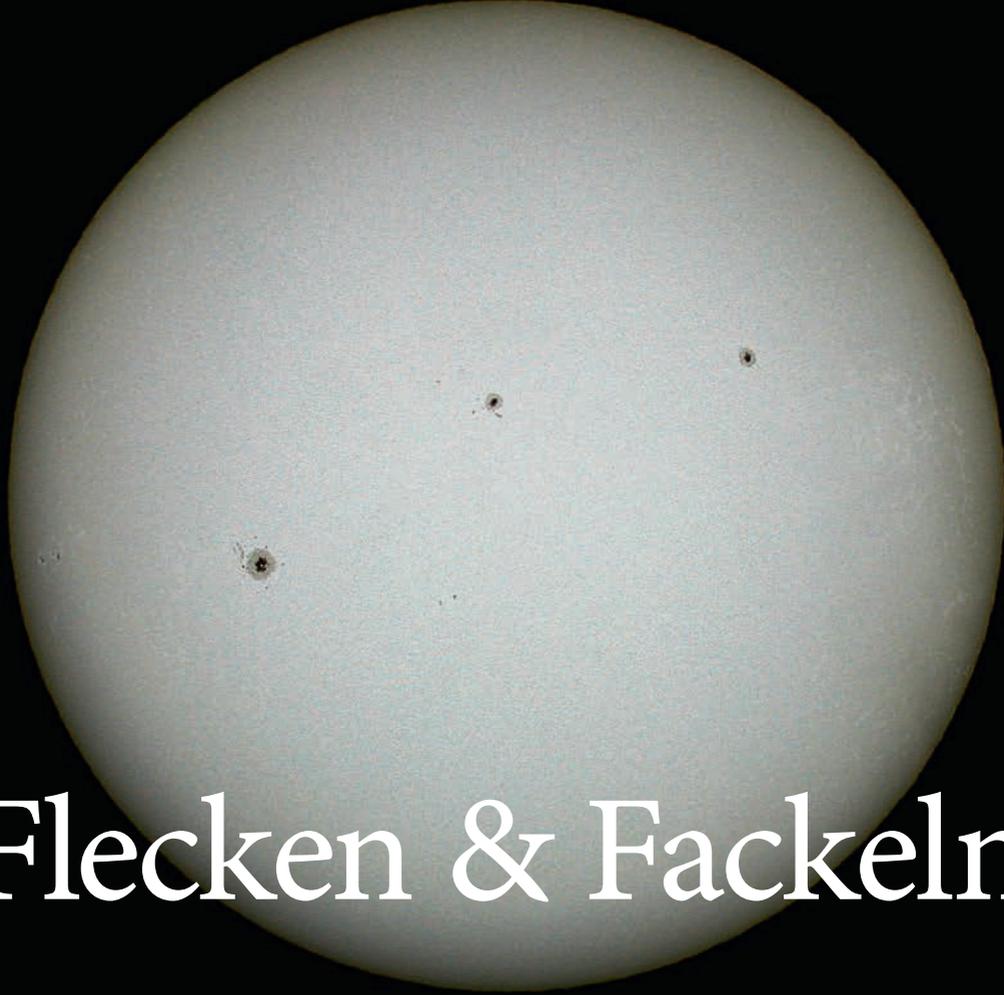


Sonnenfotos der interstellarum-Leser:

www.sonneaktuell.de

Homepage des Autors mit weiteren Sonnen-Aufnahmen:

www.sonnenwind-observatorium.de



Flecken & Fackeln

Eine Anleitung zur Sonnenbeobachtung im Weißlicht

von Manfred Holl

E. Kopowski

▲ Abb. 1: Als »Weißlicht« bezeichnet man die Summe der Lichtemission der Sonne, die das menschliche Auge aufnimmt. Sie ist eine Mischung verschiedener Emissionslinien und erscheint als solche weiß.

Die Beobachtung der Sonne über den ganzen dem Menschen zugänglichen Spektralbereich, dem sogenannten Weißlicht, gehört zu den beliebtesten Gebieten der Amateurastronomie. Mit einem einfachen Objektiv-Sonnenfilter aus Glas oder Folie und ohne große Kosten erschließen sich bereits dem Einsteiger eine Vielzahl interessanter Phänomene wie Sonnenflecken und Fackeln.

Die Aktivität der Sonne drückt sich durch verschiedene Phänomene und deren Häufigkeit aus: Sonnenflecken und Sonnenfackeln sind auf den ersten Blick die herausragenden Erscheinungen auf der Sonnenoberfläche. Die gesamte Sonne ist aber auch von wesentlich kleineren Struktureinheiten überzogen.

Granulation

Hochauflösende Aufnahmen zeigen sie oft und deutlich, visuell sind sie aufgrund des Luftozeans, unter dem wir uns befinden, nur sehr schwer auszumachen: die Granulen. Die gesamte Sonnenoberfläche ist, abgesehen von den Aktiven Regionen, von einem

feinen Netzwerk feingliedriger Zellen überzogen, deren Durchmesser zwischen 0,25" und 2,5" liegt. Sie sind nichts anderes als das obere Ende der Konvektionszellen, aus denen heiße Materie aus dem Sonneninneren an die Oberfläche steigt, ihre Energie abgibt und wieder in sich zusammenfällt, um neuen Zellen Platz zu machen. Daher

► Abb. 2: Nur auf hoch aufgelösten Sonnenfotos ist die Granulation zu sehen, eine feine, die gesamte Sonne bedeckende körnige Struktur. Aufnahme vom 9.7.2012. 5"-Refraktor bei 2000mm, TIS DMK31, Summenbild aus 500 Aufnahmen (von 2500). Bearbeitet in Avistack und Photoshop.

ist ihre Lebensdauer mit wenigen Minuten auch relativ kurz.

Visuell ist die Granulation als »griese-lige« Struktur der Sonnenoberfläche mit hochqualitativen Filtern schon mit kleinen Instrumenten ab 50mm Öffnung zu sehen. Für eine gesicherte Auflösung einzelner Granulen muss aber mindestens als oberste Grenze eine Auflösung von 1" gegeben sein, was ca. 100mm Öffnung erfordert. Nur wenige Sternfreunde mit großen Instrumenten an geeigneten Standorten konnten unter Berücksichtigung des Tagesganges der Luftunruhe Fotografien erstellen, die für weitere Untersuchungen geeignet sind.

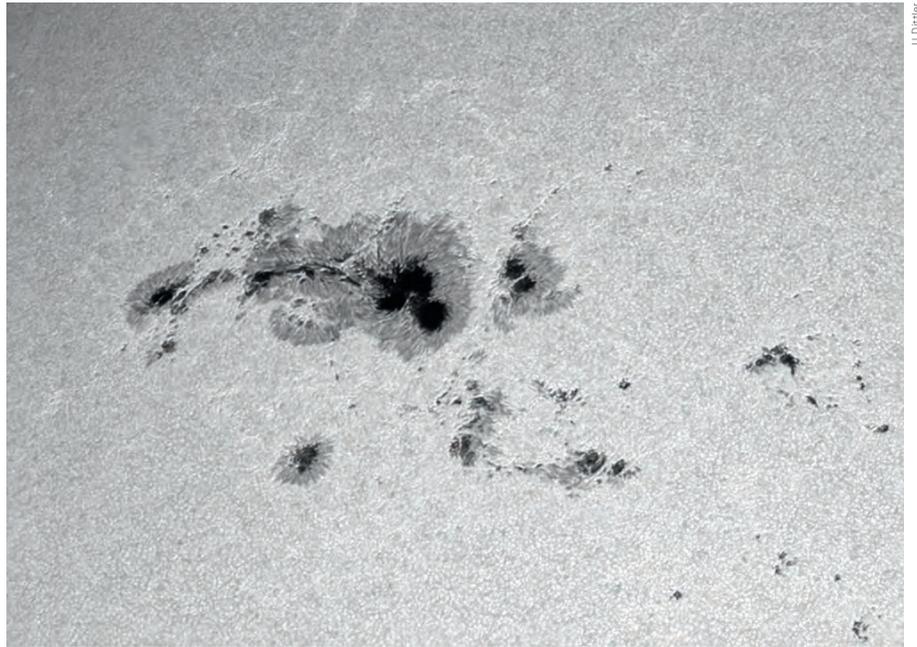
Sonnenflecken

Die dunklen Flecken auf der Sonne sind das Hauptmerkmal der Sonnenaktivität und seit etwa rund 400 Jahren bekannt, seit sie erstmals 1611 von Galileo Galilei (1564–1642) beobachtet wurden. Flecken treten in der Regel in Gruppen auf, aber auch einzelne Flecken sind nicht selten.

Eines der auffälligsten Merkmale von Sonnenflecken höherer Entwicklungsstufen ist deren Aufteilung in ein dunkles, kühleres Kerngebiet, die Umbra, deren Struktur oft chaotisch wirkt, und den Hof, die Penumbra, die ein streifenartiges Aussehen hat. Die Umbren können Durchmesser von bis zu 10000km erreichen. Gelegentlich wird davon berichtet, dass sie nicht nur rein schwarz, sondern auch grau erscheinen können, auch scheint es in den Umbren durchaus Helligkeitsvariationen zu geben. Das wird allgemein mit der Stärke des lokalen Magnetfeldes in Zusammenhang gebracht: Je stärker das Magnetfeld ist, desto dunkler erscheinen offenbar die Umbren.

Die Penumbren werden als ein Gebiet aus hellen und dunklen Streifen wahrgenommen,

► Abb. 3: Die Fleckengruppe AR1596 zeigte am 21.10.2012 verschiedene Ausprägungen von Sonnenflecken von der Pore bis zum großen Fleck mit Umbra und Penumbra. 5,1"-Refraktor bei 2000mm, Baader Herschelprisma, TIS DMK31, Summenbild aus 500 Aufnahmen (von 2500). Bearbeitet in Avistack und Photoshop.



U. Dittler

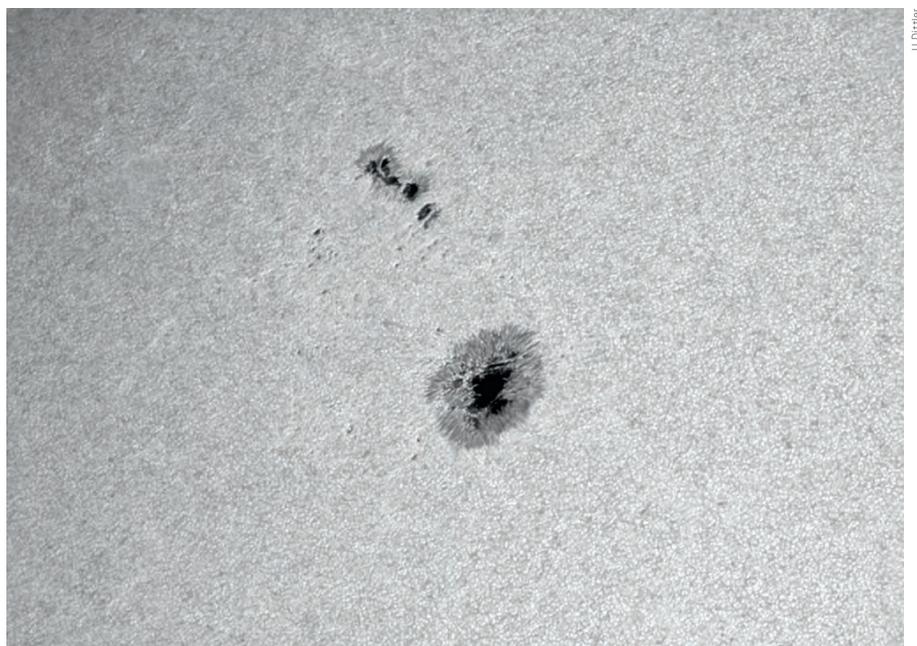
die von der Umbra in die ungestörte Photosphäre hinauszulaufen scheinen, wobei diese Streifen typische Durchmesser von etwa 0,5" aufweisen. Insbesondere spektroskopische Untersuchungen haben gezeigt, dass hier in der Tat Materie aus dem Fleck heraus in die umgebende Sonnenoberfläche abgegeben wird.

Fleckengruppen

Die Entwicklung einer Fleckengruppe, deren Struktur mit der Entwicklung des lokalen Magnetfeldes in einem engen Zusammenhang steht, beginnt oftmals mit dem Erscheinen eines kleinen, unscheinbaren, dunklen Punktes. Diese sogenannte Pore kann zwar zwischen 1" und 10" groß sein, meistens erreicht sie aber nur zwischen 2" und 5". Per

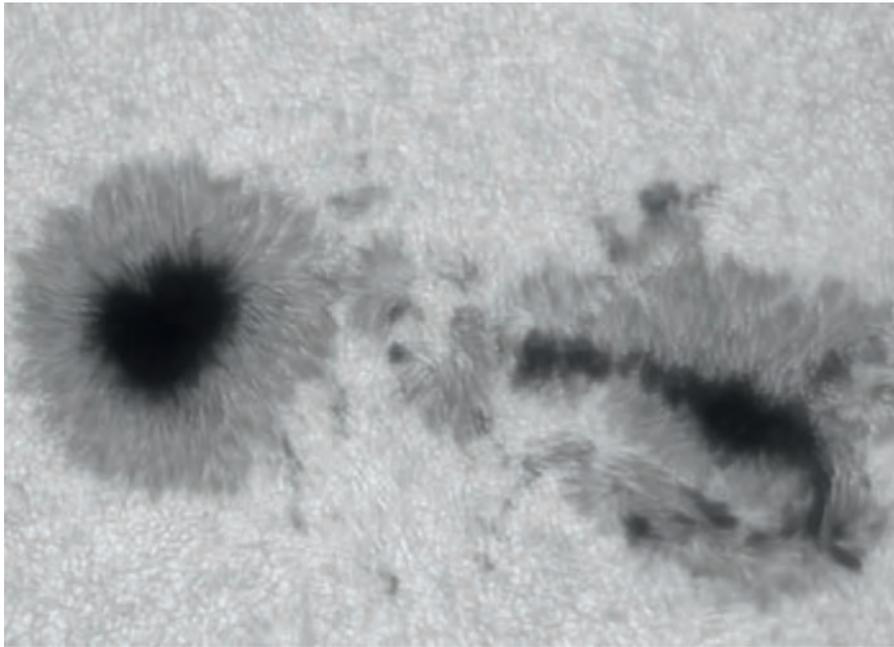
Definition sind alle Poren ab einem Durchmesser von 3" auch Flecken. Die Lebensdauer von Poren beträgt oft nur wenige Stunden, daran kann man erkennen, ob es sich um eine Pore oder einen Sonnenfleck handelt.

Nimmt die Magnetfeldstärke an der Stelle zu, an der sich die Pore befindet, kommt es zur Ausbildung eines Sonnenflecks, der dann rasch an Größe gewinnt und zu einem kleinen A-Fleck wird. Der Buchstabe bezeichnet das Aussehen nach der sogenannten Waldmeier-Klassifikation. Bei einem schwachen lokalen Magnetfeld fällt dieser Fleck binnen Stunden in sich zusammen, wird dann wieder zu einer Pore und kann nicht mehr beobachtet werden. Eine Pore kann somit kommende Aktivität an der Stelle ihres Auftretens anzeigen, das muss aber nicht zwangsläufig der Fall sein.



U. Dittler

T. Winteler



▲ Abb. 4: Komplexe Fleckengruppen können beachtliche Ausmaße annehmen. Hier zeigen sich besonders schön die radialsymmetrischen Strukturen in der Penumbra. Aufnahme vom 2.8.2011, 20"-Newton bei 4800mm, DM-K21AU04.AS, Baader Filterfolie ND3 und Astromik G-Filter.

BASISWISSEN

Die Sonnenrotation

Die Sonne weist eine Eigenrotation auf, deren Bewegungsrichtung von Ost nach West mit der der Planeten identisch ist. Als Gaskörper rotiert sie nicht starr, sondern differenziell, d.h., in höheren heliographischen Breiten bewegen sich ihre Gasmassen und damit die Aktiven Regionen langsamer als in niedrigeren; die Rotationsdauer beträgt am Sonnenäquator etwa 25 Tage und auf 40° Breite etwa 27 Tage. Der in der Bewegungsrichtung einer bipolaren Fleckengruppe voranschreitende Teil-Gruppen erscheinen am Ostrand und verschwinden am Westrand - wird als p-Teil (»preceding«) bezeichnet, der nachfolgende als f-Teil (»following«). Langlebige Gruppen können, wenn sie am Westrand verschwunden sind, nach etwa 14 Tagen am Ostrand wieder auftauchen. Sie besitzen außerdem noch eine kleine Eigenbewegung in Länge und Breite, wobei erstere etwa 0,1° pro Tag beträgt.

Ist das Magnetfeld an dieser Stelle jedoch stärker, bildet sich zunächst eine bipolare Struktur aus, ein B-Fleck entsteht. Bei noch höherer magnetischer Feldstärke kommen Penumbren hinzu, aus dem B- wird ein C- oder D-Fleck und ausgedehnte Fleckengruppen entstehen. Die Lebensdauer einer Gruppe ist abhängig von dem lokalen Magnetfeld. Bricht dieses zusammen, entwickeln sich auch die Flecken zurück und verschwinden schließlich ganz. Große Fleckengruppen der Waldmeiner-Kategorien E und F können mehrere Sonnenrotationen überleben, kleinere sich nach 1 oder 2 Tagen wieder zurückbilden. Große Fleckengruppen werden dabei zu Einzelflecken (Waldmeier-Klassen G und H).

Während eines Sonnenfleckenzyklus erscheinen neue Fleckengruppen zunächst in hohen heliographischen Breiten beiderseits des Sonnenäquators. Diese Zonen verschieben sich im weiteren Verlauf immer weiter in Richtung Äquator, ohne diesen jedoch zu überschreiten. Dieser auch Breitenwanderung genannte Effekt ist jedoch nicht starr, denn schon vor Ende eines Zyklus, dessen Aktivitätszentren in niedrigen Breiten erscheinen, kann man Vertreter des nächsten in hohen Breiten beobachten.

Lichtbrücken

Diese hellen Streifen, Brücken oder Punkte in den Flecken sind zwar beinahe alltäglich zu nennende Erscheinungen, werden aber dennoch kaum systematisch beobachtet. Sie sind als helle, fadenförmige Streifen erkennbar, die von außen her in den Fleck greifen, helle Inseln innerhalb der Fleckenumbra oder der

-penumbra bilden oder sich netzwerkartig zwischen Umbra und Penumbra ausbreiten. Grundsätzlich unterscheidet man drei Arten von Lichtbrücken:

- Klassische Lichtbrücken, die von außen her in den Fleck eindringen
- Inseln, die innerhalb der Umbra oder der Penumbra des Flecks entstehen
- Streamer, die sich netzwerkartig zwischen Umbra und Penumbra ausbreiten

Wohl am häufigsten sind die Streamer, sie verfügen dafür aber auch über die kürzeste Lebensdauer aller Lichtbrücken von wenigen Minuten bis zu wenigen Tagen, während klassische Lichtbrücken zwischen einem Tag und mehreren Wochen und Inseln ebenfalls bis zu mehreren Tagen beobachtet werden können.

Lichtbrücken haben Ausdehnungen zwischen maximal 1" und 5" und können nur mit entsprechendem Instrumentarium oder auf hochauflösenden Fotos erkannt werden. Letztere zeigen allerdings noch etwas anderes: Sie weisen eine den Granulen ähnliche Struktur auf und scheinen mit der Feinstruktur in den Filamenten der Penumbren in Verbindung zu stehen. Auch zeigen Ha-Aufnahmen, dass sie sich in die Umgebung des Flecks hinein erstrecken.

Ob Lichtbrücken Einfluss auf die Entwicklung der Fleckengruppe nehmen, in der sie sich befinden, ist umstritten, denn sie vermögen Flecken sowohl zu teilen als auch sie zu stabilisieren.

Wilson-Effekt

In der Nähe des Sonnenrandes verschiebt sich die Umbra eines Sonnenflecks scheinbar zur Sonnenscheibenmitte hin, weswegen die Penumbra hier gegenüber der dem Rand zugewandten Seite hin stark verkürzt erscheint. Dieser Effekt wurde durch Alexander Wilson (1714–1786) im Jahr 1769 das erste Mal beobachtet. Nachdem bereits der Entdecker vermutet hatte, dass man am Sonnenrand in tiefere Schichten der Sonne blicken könne – der Effekt also nur ein rein geometrischer sei – geht man heute davon aus, dass vor allem starke Veränderungen im lokalen Magnetfeld die Hauptrolle spielen, was einen wichtigen Beobachtungsbefund bestätigt: Der Wilson-Effekt tritt nur bei größeren Flecken auf. Dass er nur am Sonnenrand zu sehen ist, kann ein Hinweis darauf sein, dass auch die Mitte-Rand-Variation der Sonnenhelligkeit (Randverdunklung) bei der Entstehung eine

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

► Abb. 5: Randnaher Sonnenfleck mit ausgeprägtem Wilson-Effekt. Aufnahme vom 27.1.2012, 3"-Refraktor bei 5000mm, 1/200s, Solar Continuum Filter.

Rolle spielt. Bislang war der Wilson-Effekt aber nur selten Gegenstand professioneller Sonnenforschung und auch Amateure zeigen bislang wenig Interesse.

Fackeln

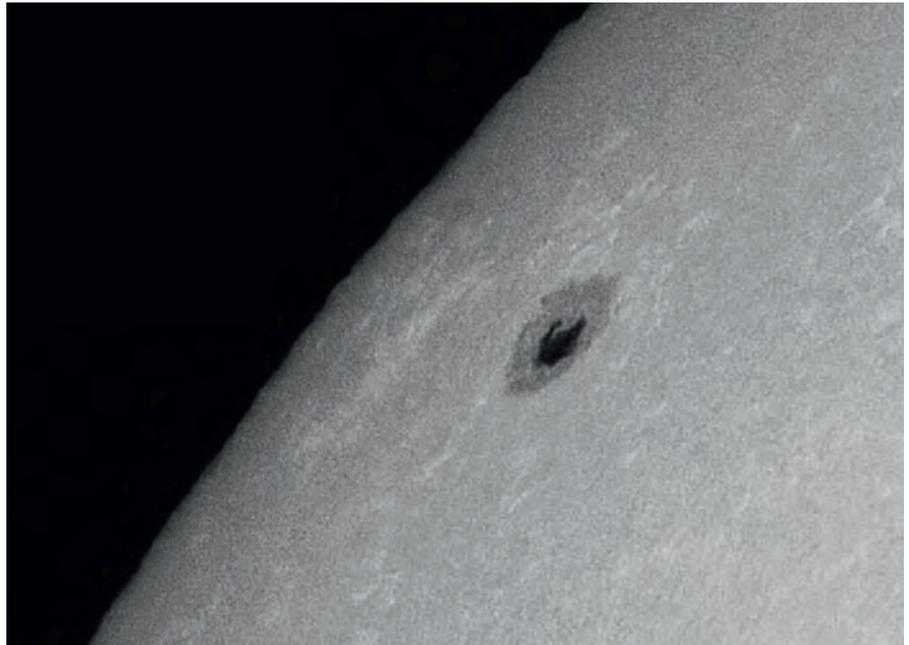
Eigentlich über die ganze Sonnenoberfläche verteilt, können die hell hervortretenden Fackeln aufgrund der Randverdunklung nur am Sonnenrand schon im einfachen Amateurteleskop beobachtet werden. Sie treten alleine oder in Begleitung von Sonnenflecken auf und sind als chromosphärisches Netzwerk mit Hilfe von H α - oder Kalzium-Filtern als feinädrierte Grundstruktur beobachtbar, im Kalziumlicht etwas heller als in H α . Sie halten sich nicht an die Zonen, die von den Sonnenflecken im Laufe eines Zyklus aufgrund ihrer Breitenwanderung eingenommen werden und sind als Polfackeln während des Maximums auch in der Nähe der beiden Sonnenpole zu beobachten. Ihre Häufigkeit variiert allerdings mit dem Sonnenzyklus und so geht ihre Zahl zurück, wenn die Zahl der Flecken abnimmt und steigt, wenn wieder mehr Flecken zu sehen sind.

Beobachtungsprogramme

Wer sich nicht nur am täglichen Anblick der Sonnenflecken erfreuen, sondern sie auch systematisch beobachten möchte, dem stehen mehrere Beobachternetze zur Verfügung, an die Beobachtungen zusammen mit weiteren Daten (siehe Kasten) eingesendet werden können. Dort werden sie ausgewertet und statistischen Untersuchungen der Sonnenforscher zur Verfügung gestellt.

A-Zahl

Mit einem Filter hoher Dichte und geeigneter spektraler Durchlasskurve (und nur damit!) kann man die Sonne mit bloßem Auge ansehen und registrieren, ob es Flecken auf der Sonne gibt, die so groß sind, dass man sie auch ohne instrumentelle Hilfsmittel wie Fernglas oder Fernrohr beobachten kann. Dies funktioniert auch z.B. bei nebligem Wetter und Sonnenauf- und -untergängen ohne Filter. Allerdings sollte man hier sehr vorsichtig sein, um seine Augen nicht zu schädigen.



E. Koppewski

IM DETAIL

Bewertungsskalen für die visuelle Sonnenbeobachtung (nach Kiepenheuer)

Ruhe

- 1 Keine Bildbewegung erkennbar, weder am Rand noch auf der Scheibe.
- 2 Bildbewegung kleiner gleich 2", nur am Rand nachweisbar, auf der Scheibe meistens unbemerkbar.
- 3 Bildbewegung kleiner gleich 4", gut am Rand und auf der Scheibe sichtbar, wallender, pulsierender Rand.
- 4 Bildbewegung kleiner gleich 8", verhindert nahezu die Unterscheidung zwischen Umbra und Penumbra (und damit die Schärfbeurteilung), stark wallender oder pulsierender Rand.
- 5 Bildbewegungsamplitude größer 8", erreicht Durchmesser von Flecken, heftig pulsierender Rand.

Schärfe

- 1 Granulation sehr gut sichtbar, Feinstrukturen in der Penumbra erkennbar.
- 2 Granulation gut erkennbar, Penumbra gut sichtbar, aber nahezu ohne Feinstrukturen, Umbra-Penumbra-Grenze und Übergang zur Photosphäre scharf.
- 3 Granulation nur andeutungsweise erkennbar, aber Strukturen der Oberfläche bei Bewegung des Sonnenbildes leicht nachweisbar, Umbra und Penumbra noch gut trennbar, aber

- ohne Feinstruktur, Übergang zur Photosphäre schwer zu begrenzen.
- 4 Granulation nicht sichtbar, Umbra und Penumbra nur noch bei großen Flecken trennbar. Übergang zur Photosphäre verwaschen.
- 5 Granulation nicht sichtbar, selbst bei großen Flecken kann zwischen Umbra und Penumbra kaum mehr unterschieden werden.

Qualität

- E excellent/sehr gut: reserviert für Tage, an denen außergewöhnlich feine Details sichtbar sind.
- G good/gut: durchschnittliche Sichtbarkeit von Oberflächendetails der Sonne, entsprechend den individuellen Erfahrungen und Gegebenheiten des Einzelbeobachters.
- F fair/befriedigend: unterdurchschnittliche Bedingungen, aber noch keine wesentlichen Beeinträchtigungen.
- P poor/schlecht: erhebliche Bildstörungen, die den Wert der Beobachtung stark einschränken.
- W worthless/wertlos: Sichtbedingungen so schlecht, dass eine Auswertung der Beobachtung nicht sinnvoll ist.

Wolfsche Relativzahl

Ihre Berechnung ist das älteste und wegen ihrer Schlichtheit beliebteste Hilfsmittel für Sonnenbeobachter, um die Aktivität des Tagesgestirns statistisch zu erfassen. Die Formel für die Wolfsche Relativzahl (R_e) lautet:

$$R_e = k \times (10 \times g + f)$$

Dabei teilt man die Flecken in Gruppen (g) ein, nimmt diese Zahl, verzehnfacht sie und zählt alle in den Gruppen enthaltenen einzelnen Flecken (f), die man auf der Sonne sieht, hinzu. Ein Einzelfleck gilt dabei sowohl als Gruppe als auch als Fleck. Der Korrekturfaktor k ist vom Seeing, dem Instrument und von der Erfahrung des Beobachters abhängig und dient dazu, die

Werte verschiedener Beobachter vergleichbar zu machen.

Intersol-Index

Eine andere Zielsetzung hat der Paderborner Intersol-Index (IS). Um statistisches Material im Hinblick auf die solar-terrestrischen Beziehungen zu erhalten, verzichtet man hier auf einen Faktor, der das Geschehen auf der erdabgewandten Seite zumindest anteilig mitberücksichtigt. Dafür werden nach der Formel

$$IS = GR + GRFP + GRF + EFP + EF$$

die Gruppen (GR) mit zwei oder mehr Flecken von den Einzelflecken (EFP und EF – P steht für vorhandene Penumbra) getrennt erfasst und die in Gruppen befindlichen Flecken mit und ohne Penumbra (GRFP bzw. GRF) hinzugezählt.

Fackelzahlen

Sonnenfackeln sind am Sonnenrand sehr gut als Aufhellungen zu sehen, welche in der Nähe von Sonnenflecken anzutreffen sind, aber auch ohne sie erkannt werden können. Fackeln sind durchaus auch für die Vorhersage über das Auftauchen neuer Fleckengruppen am Ostrand der Sonne geeignet. Ihre Temperatur liegt mit 7000°C höher als bei den Flecken (ca. 5800°C). Im $\text{H}\alpha$ -Licht bezeichnet man diese weit über die Oberfläche reichenden Gebiete als das chromosphärische Netzwerk. Die einzelnen Komponenten F_0 (Fackelgebiete ohne Flecken), F_m (Fackelgebiete mit Flecken), F_{EF} (flächige Einzelfackeln) sowie F_{EP} (punktförmige Einzelfackeln), gezählt von verschiedenen Beobachtern, werden gemittelt, mit 10 multipliziert und veröffentlicht. Überdies kann man sich (mit einem größeren Teleskop) auch der Bestimmung der Zahl der Polfackeln und der Ermittlung der Positionen von Fackeln widmen.

Seeing

Die Bewegungen der Luft führen zu Verschlechterungen der Beobachtungsbedingungen, die sich durch einen heftig wallenden Sonnenrand und scheinbar starke Oberflächenbewegungen – die nur durch die Unruhe der Erdatmosphäre verursacht werden – bemerkbar machen.

Die Ursachen solcher Luftbewegungen sind in höchstem Maße unterschiedlich: Aufsteigende Wärmeblasen in der Luft (auch Seeing-Blasen genannt) entstehen, wenn die

BASISWISSEN

Der Sonnenfleckenzyklus

Sonnenflecken entwickeln sich nicht nur bis zu einer Höchststufe, nach der sie sich wieder zurückbilden (weil das sie begründende Magnetfeld zusammenbricht), sie treten auch zyklisch und selbst im Aktivitätsmaximum mehr und weniger häufig auf. Jeder Zyklus beginnt immer mit einem Fleckenminimum und endet beim nächsten. Dabei tauchen die ersten Flecken schon während des alten Zyklus auf $\pm 30^\circ$ bis $\pm 40^\circ$ heliographischer Breite auf. Die Länge des Zyklus kann zwischen 8 und über 14 Jahren betragen und liegt im Mittel bei etwa 11 Jahren. Der im Weißlicht sichtbare Fleckenzyklus ist aber nur Teil eines 22-jährigen magnetischen Zyklus mit Umkehr der Polarität.

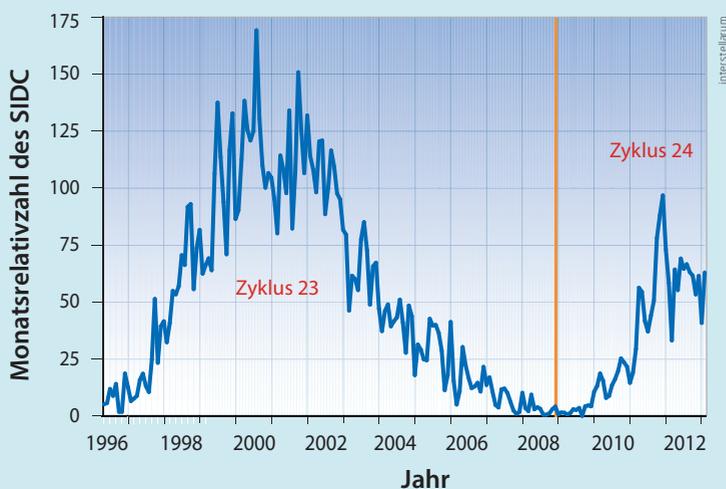
Derzeit leben wir im 24. Sonnenfleckenzyklus, dieser begann im Dezember 2008, das Maximum wird für Ende 2013 oder Anfang 2014 erwartet, das nächste Minimum gegen Ende des Jahrzehnts. Der erste gezählte Zyklus begann 1755 und endete 1766.

Der Verlauf eines Zyklus ist nicht statisch, denn unabhängig von der Phase kann es

immer Zeitabschnitte mit hoher und niedriger Aktivität geben und nur die langfristige systematische Überwachung, etwa durch Amateure, liefert belastbare Annahmen und Aussagen über die langfristige Entwicklung eines Zyklus. Auch sind der Anstieg und der Abfall der Sonnenaktivität innerhalb eines Fleckenzyklus nicht konstant, sondern unterliegen bestimmten Gesetzmäßigkeiten. So kommt es regelmäßig nach einem Fleckenminimum zu einem erneuten Einbruch, dem Nebenminimum, oder es erfolgt etwa ein Jahr nach dem Maximum ein weiterer, allerdings niedrigerer Höhepunkt, das Nebenmaximum.

Waldmeier beschrieb folgende Gesetze:

- je höher das Maximum, desto kürzer die Anstiegszeit (Zeit vom Minimum zum Maximum)
- je höher das Maximum, desto länger die Abstiegszeit (Zeit vom Maximum zum Minimum)
- je höher das Maximum, desto höher ist die Sonnenaktivität fünf Jahre nach dem Maximum



▲ Die Fleckenrelativzahl seit Beginn des 23. Zyklus. Der aktuelle Zyklus erzeugt deutlich weniger Flecken als sein Vorgänger.

► Abb. 6: Sonnenfleck mit auffälligen Lichtbrücken am 12.7.2011. 12,5"-Refraktor bei 1520mm, TIS DMK31AF03.AS, UV/IR-Cut-Filter.

wärmenden Sonnenstrahlen auf kalten Boden treffen und aufsteigen. Geöffnete Fenster, das Wettergeschehen (z.B. im Vorfeld einer Schlechtwetterfront), die Bedingungen am Beobachtungsort usw. sind alles Gründe, die trotz tiefblauem Himmel dazu führen können, dass man kaum Einzelheiten auf der Sonnenoberfläche wahrnimmt.

Um die Beobachtungsergebnisse unter den Bedingungen örtlicher Gegebenheiten besser beurteilen zu können, wird die modifizierte Kiepenheuer-Skala zur Bewertung der Luftqualität verwendet. Hinzu kommt noch ein Extrawert für die »Qualität« des Sonnenbildes (vgl. Kasten).

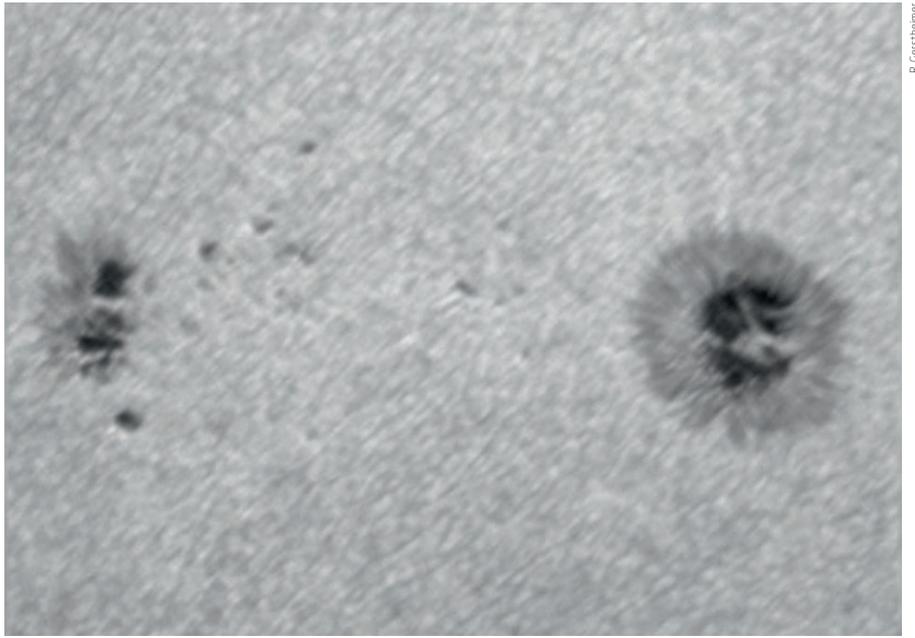
Das Kriterium der Sichtbarkeit der Granulation ist in mittleren bis größeren Teleskopen gut anwendbar, in kleineren Teleskopen jedoch schwierig zu beurteilen. Besitzer kleinerer Instrumente haben zwar den Vorteil, dass sich schlechtes Seeing wenig bemerkbar macht, dafür sehen sie aber die Granulen nur sehr selten. Daher sollte man in so einem Fall das Kriterium der Granulen als Bewertungsmaßstab nicht anwenden.

Vergleich mit Fotografien

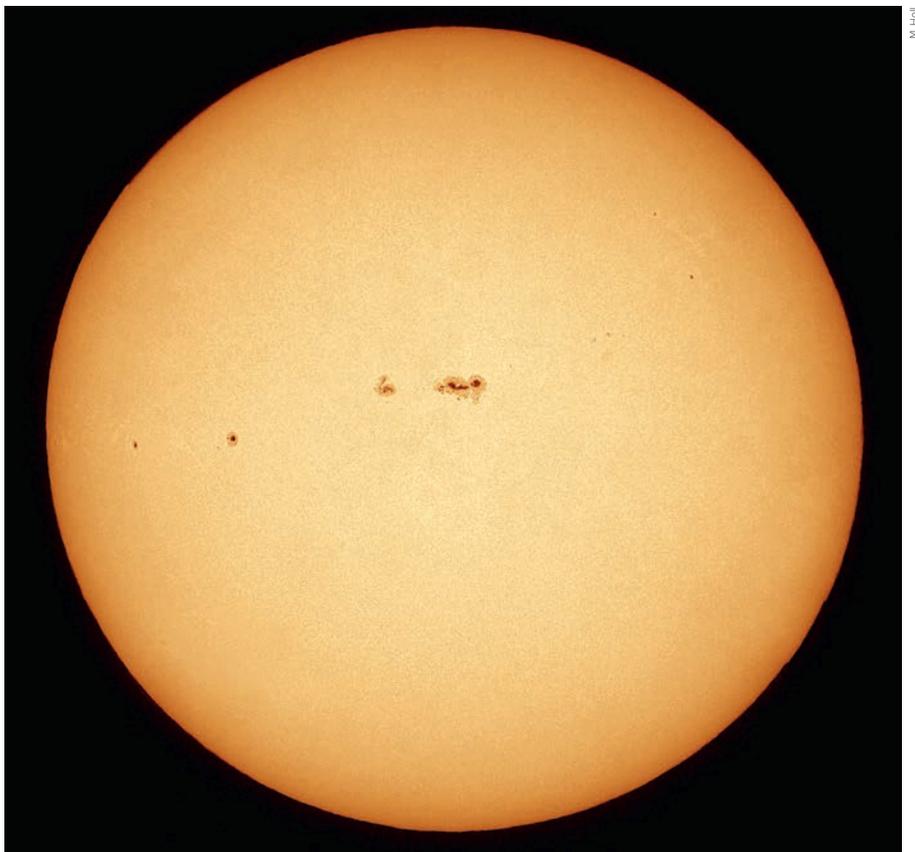
Im digitalen Zeitalter besteht die Möglichkeit, sich aus dem Internet das jeweils aktuelle Sonnenbild herunterzuladen. Damit könnte man zum Fernrohr gehen und versuchen, nicht erkannte Sonnenflecken »nachzuzählen«. Das aber führt zu einer Verfälschung der eigenen Ergebnisse – denn ohne Satellitenbilder (z.B. von SOHO oder SDO) hätte man diese Flecken gar nicht erkannt.

Auch bei schlechten Witterungsbedingungen kann die Verlockung groß sein, kleinere Gruppen auf Fotos zu lokalisieren, die einem vielleicht entgangen sind. Das ist sehr problematisch, denn zu diesem Zeitpunkt setzt bereits die mögliche Verfälschung der eigenen Ergebnisse ein. Es ist natürlich nicht verboten, sich die Bilder im Web anzusehen, nur darf dies erst nach der Beobachtung geschehen und das bereits notierte Ergebnis nicht mehr verändert werden.

Auf gar keinen Fall darf man Beobachtungslücken durch die Auswertung von Satellitenbildern auffüllen. Die bessere Qualität der Bilder gegenüber den eigenen Beobachtungen führt zu stark schwankenden



R. Gerstmeier



M. Heil

▲ Abb. 7: Zählbeispiel für die verschiedenen Beobachtungsprogramme. Am 28.9.2011 betragen die sich aus mehreren Beobachtungen ergebenden Mittelwerte: A-Zahl 1,3; Wolfsche Relativzahl 71; Intersol-Index 32,70; Fackelzahl: 778.

Auswertungsergebnissen und dazu, dass man als Beobachter weniger ernst genommen wird. Hier sollte man sein eigenes Handeln überprüfen und überdenken, denn niemandem ist damit gedient, wenn auf diese Art wissenschaftliches Grundlagenmaterial verfälscht wird, auch wenn Satellitenbilder nicht für die Bestimmung von Relativzahlen herangezogen, sondern für andere Forschungsaufgaben verwendet werden.

SURFTIPPS

VdS-Fachgruppe Sonne:

☞ www.sonneonline.org

Paderborner Intersol-Index:

☞ www.inter-sol.org



Good Day Sunshine

Sonnenbeobachtung mit Bleistift und Papier

von Lambert Spix

L. Spix

▲ Abb. 1: Die Sonne verändert sich Tag für Tag – das Zeichnen ihrer Strukturen im H α -Licht ist eine effektive und persönliche Methode, diese Veränderungen zu dokumentieren.

Seit Einführung der kleinen und kompakten H α -Teleskope von Coronado und Lunt reichen die Mittagspause oder der Feierabend für eine kurze Sonnenbeobachtung zwischendurch. Bereits in den kleinen Teleskopen mit 35mm oder 40mm Öffnung offenbart sich dem Beobachter die wahre Natur der Sonne: Ein gigantischer Gasball, der auf seiner Oberfläche eine enorme Menge von sich stetig verändernden Details zeigt und ihm täglich ein neues Aussehen gibt.

Das sind die richtigen Zutaten für spannende und abwechslungsreiche Beobachtungen, die in einem »Sonnentagebuch« dokumentiert werden möchten. Auch wenn die Sonnenfotografie

in den letzten Jahren einfacher geworden ist, eignet sich die Zeichnung für ein schnelles Festhalten der Eindrücke bei der Sonnenbeobachtung hervorragend und benötigt im Gegensatz zur Fotografie nur

minimalen Materialeinsatz: ein Skizzenbuch mit Spiralbindung, zwei Bleistifte mit Härte HB und 2B, Spitzer, Radiergummi und zwei runde Schablonen mit etwa 10cm Durchmesser und 30cm Durchmesser, z.B.

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

eine CD und ein Kunststoffuntersetzer für Blumentöpfe. Das Papier darf nicht zu glatt sein, in der Regel eignet sich einfaches Kopierpapier. Sparen sollte man nicht an der Qualität der Bleistifte und auf jeden Fall auf einen Markenbleistift zurückgreifen. Damit gelingt ein gleichmäßiger Graphitauftrag ohne Verunreinigungen.

Im Rotlicht gehts rund

Im Gegensatz zur Beobachtung im Weißlicht, bei der die eher »ruhigen« Strukturen wie Sonnenflecken beobachtet werden können, geht es bei der Beobachtung im roten Licht der $H\alpha$ -Linie richtig rund. Die Chromosphäre besteht aus einer dünnen, aber äußerst turbulenten Schicht heißen Gases. Dort werden das fortlaufende Spiel der Protuberanzen und Filamente und die eruptiven Ausbrüche der Flares sichtbar; praktisch jeden Tag gibt es Neues zu sehen. Besonders die Protuberanzen sind dankbare Objekte für die zeichnerische Dokumentation: majestätische Bögen, Säulen und gewaltige Fächer in allen Formen und Größen mit vielen unterschiedlichen Strukturen und Details. Auf den ersten Blick erscheint es aufgrund der Formenvielfalt und Detailfülle schwierig, die Protuberanzen zu zeichnen. Doch mit einem systematischen Aufbau der Zeichnung gelangt man auch als beginnender Zeichner schnell zum gewünschten Erfolg.

Schritt 1:

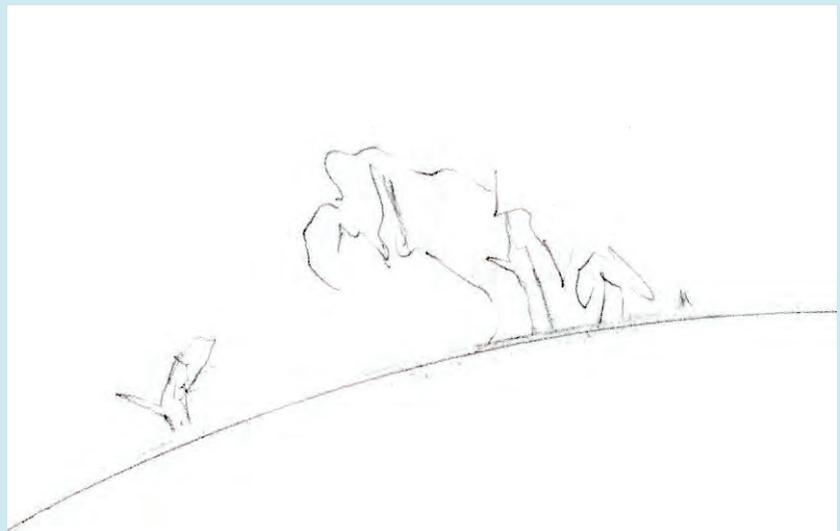
Mit der größeren Schablone wird der Sonnenrand markiert und mit lockeren Strichen der Umriss der Protuberanz skizziert. Im ersten Arbeitsschritt entsteht also die grundsätzliche Form und Größe. Dafür benutzt man mit leichtem Druck den Bleistift der Härte HB. Die Kontur soll nur zart erscheinen, damit sie später den Gesamteindruck nicht stört (Abb. 2a, oben).

Schritt 2:

Im zweiten Schritt werden die hellsten und dichtesten Teile der Protuberanz in die Zeichnung übertragen. Jetzt ist es wichtig, sich nicht in Details zu verlieren, sondern den »Charakter« zu erfassen: Ist die Protuberanz wolkig, faserig oder mehr flächig? Der weiche Bleistift mit Härte 2B ist dafür die richtige Wahl (Abb. 2a, Mitte).

Schritt 3:

Nun sind die feinen »nebligen« Anteile an der Reihe (Abb. 2a, unten). Mit einem flach



Schritt 1



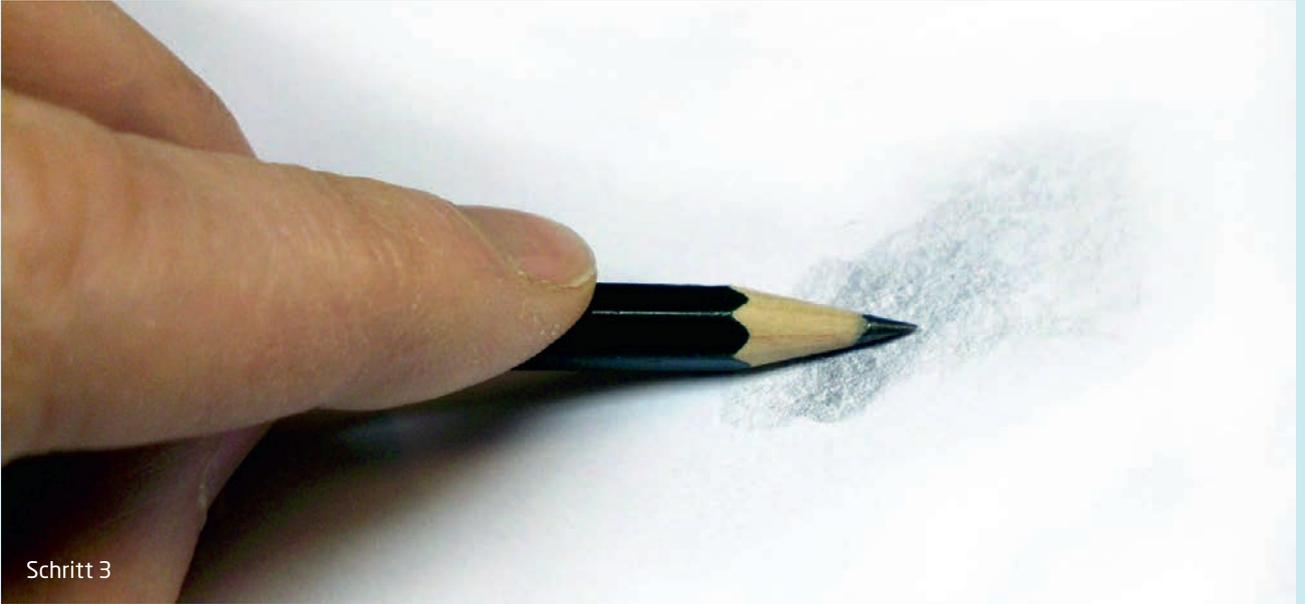
Schritt 2



Schritt 3

▲ Abb. 2a: Die Einzelzeichnung einer Protuberanz am Sonnenrand: Im ersten Schritt wird der Umriss der Protuberanz skizziert (oben). Die hellsten Bereiche der Protuberanz werden gezeichnet (Mitte). Eine sehr flache Bleistifhaltung ermöglicht das Zeichnen von feinen Flächen (unten).

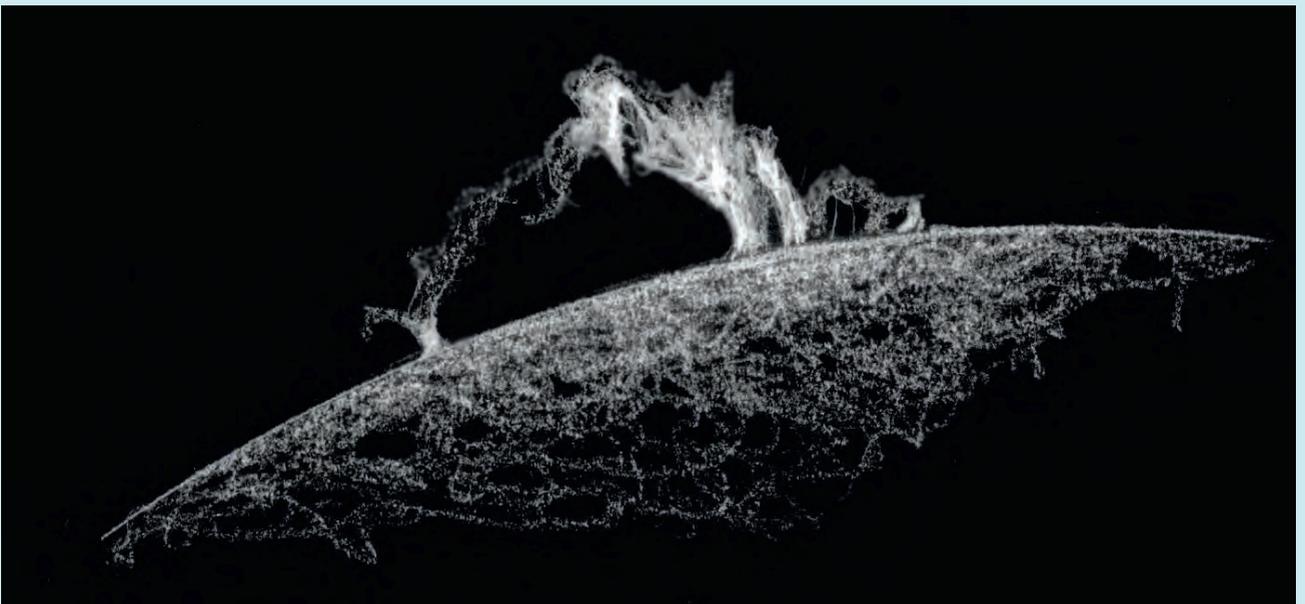
L. Spix



Schritt 3



Schritt 4



▲ Abb. 2b: Fortsetzung der Sonnenzeichnung. Die nebligen Strukturen werden im letzten Schritt angelegt (oben). Die Sonnenoberfläche erreicht man mit kreisenden, sich überlagernden Strichen (Mitte). Die negative Zeichnung wirkt detailreicher und dramatischer (unten).

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

geschliffenen 2B- oder HB-Bleistift und nur ganz leichtem Druck lassen sich auch hauchzarte »Schwaden« auf das Papier bringen. Dafür ist eine sehr flache Bleistifthalung günstig (Abb. 2b, oben).

Schritt 4:

Die Arbeit am Okular ist damit beendet und man kann im letzten Schritt das Finish angehen, in dem die Zeichnung um eine strukturierte Sonnenoberfläche ergänzt wird. Das apfelsinenartige Aussehen der Sonne im H α -Licht wird am besten mit kreisenden, sich überlagernden Strichen ohne Druck erzeugt (Abb. 2b, Mitte).

Wer mag, kann das fertige Ergebnis einscannen und in einer Bildbearbeitungssoftware invertieren. Die negative Zeichnung wirkt detailreicher und dramatischer (Abb. 2b, unten). Für eine Präsentation kann man zum Vergleich auch beide Zeichnungen nebeneinander anordnen.

Im Überblick

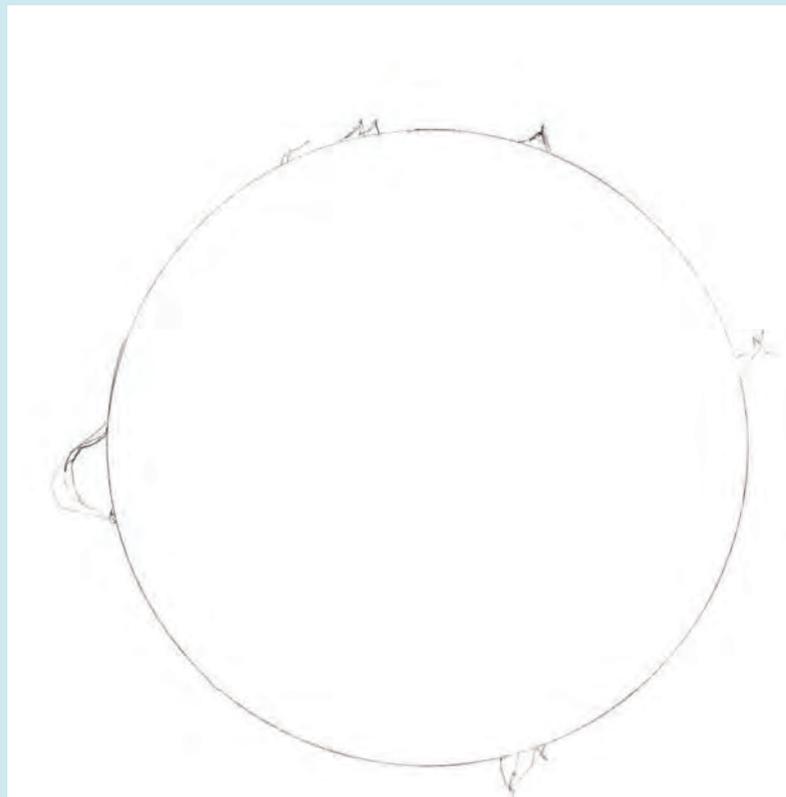
Auch die Zeichnung der Sonne im Gesamtüberblick ist reizvoll. Besonders an Tagen großer Aktivität »lodern« etliche Protuberanzen am Sonnenrand. Darüber hinaus projizieren sich die Protuberanzen als dunkel erscheinende, längliche, teilweise gewundene Filamente vor der Sonnenoberfläche und Aktive Regionen werden als helle, weißliche Areale mit oder ohne schwarz erscheinenden Sonnenflecken sichtbar. Um der Detailfülle auch hier Herr zu werden, sollte man die Zeichnung ebenfalls Schritt für Schritt aufbauen.

Schritt 1:

Mit der kleinen Schablone wird der Sonnenrand markiert und mit dem HB-Bleistift werden mit feinen Strichen die Positionen und Umrisse der Protuberanzen erfasst. Hierbei hilft es, sich das Ziffernblatt einer Uhr vorzustellen, und die Protuberanzen an die entsprechenden »Uhrzeiten« zu setzen (Abb. 3a, oben).

Schritt 2:

Sind Sonnenflecken und Aktive Regionen sichtbar, werden diese im nächsten Schritt in die Zeichnung übertragen. Unterteilt man in Gedanken die Sonnenscheibe dabei in vier Quadranten, sind die Positionen leichter zu erfassen. Die Sonnenflecken kann man dabei direkt schwarz »ausmalen«, die Aktiven Regionen sollten vorerst nur als feiner



Schritt 1



Schritt 2

▲ Abb. 3a: Die Gesamtzeichnung der Sonne im H α -Licht. Mit feinen Strichen werden Positionen und Umrisse der Protuberanzen erfasst (oben). Im nächsten Schritt werden Sonnenflecken und Aktive Regionen in die Zeichnung übertragen (unten). Zeichnung vom 3.6.2011, 16:00 MESZ, Solarmax 90/Doublestack bei ca. 60 \times .

L. Spix



Schritt 3



Schritt 4

▲ Abb. 3b: **Fortsetzung der Gesamtzeichnung.** Filamente und Sonnenflecken werden nun entsprechend ihrem Anblick im Okular fertig gezeichnet (oben). Die gesamte Sonne wirkt mit gezeichneter Oberfläche besonders realistisch (unten). Zeichnung vom 3.6.2011, 16:00 MESZ, Solarmax 90/Doublestack bei ca. 60×.

Umriss gezeichnet werden. Als Letztes werden vorhandene Filamente in der Zeichnung ergänzt. Auch hier ist der HB-Bleistift gut geeignet (Abb. 3a, unten).

Schritt 3:

Im dritten Schritt wird der Zeichnung »Leben eingehaucht«, das heißt, Protuberanzen, Filamente und Sonnenflecken werden nun entsprechend ihrem Anblick im Okular fertig gezeichnet. Hier gilt ebenfalls der Grundsatz sich nicht in Details zu verlieren, sondern den wesentlichen Charakter zu erfassen. Der weichere und in der Schwärzung sattere 2B-Bleistift sollte hierfür verwendet werden (Abb. 3b, oben).

Schritt 4:

Die gesamte Sonne wirkt besonders realistisch, wenn man die Oberfläche wie in Schritt 4 zum Zeichnen der Protuberanzen zeichnet (Abb. 3b, unten). Bei der Gesamtsonne ist allerdings darauf zu achten, die Aktiven Regionen auszusparen. Um den Übergang der hellen Regionen zur Sonnenoberfläche nicht zu abrupt erscheinen zu lassen, kann man die Ränder vorsichtig mit einem Radiergummi weicher gestalten. Als letzter Schritt werden die Helligkeiten der Filamente und Sonnenflecke noch einmal dem Gesamtbild angepasst.

Übung macht den Meister

Nach einiger Zeit der Übung wird man nicht mehr viel Zeit für eine Sonnenzeichnung aufbringen müssen. Der Zeitaufwand für die Detailzeichnung einer Protuberanz beträgt dann etwa 15 Minuten, eine Gesamtsonne benötigt je nach Aktivität etwa 20 bis 30 Minuten. Der Autor kann nur jeden ermuntern, am nächsten sonnigen Tag zu beginnen und möglichst viele Zeichnungen anzufertigen, auch wenn nicht alle gelingen. Mit jeder Zeichnung lernt man dazu und der Vorgang geht einfacher von der Hand. Auch beim Autor landet die eine oder andere Zeichnung im Papierkorb – meistens mit dem Ergebnis, dass es beim nächsten Versuch besser gelingt.

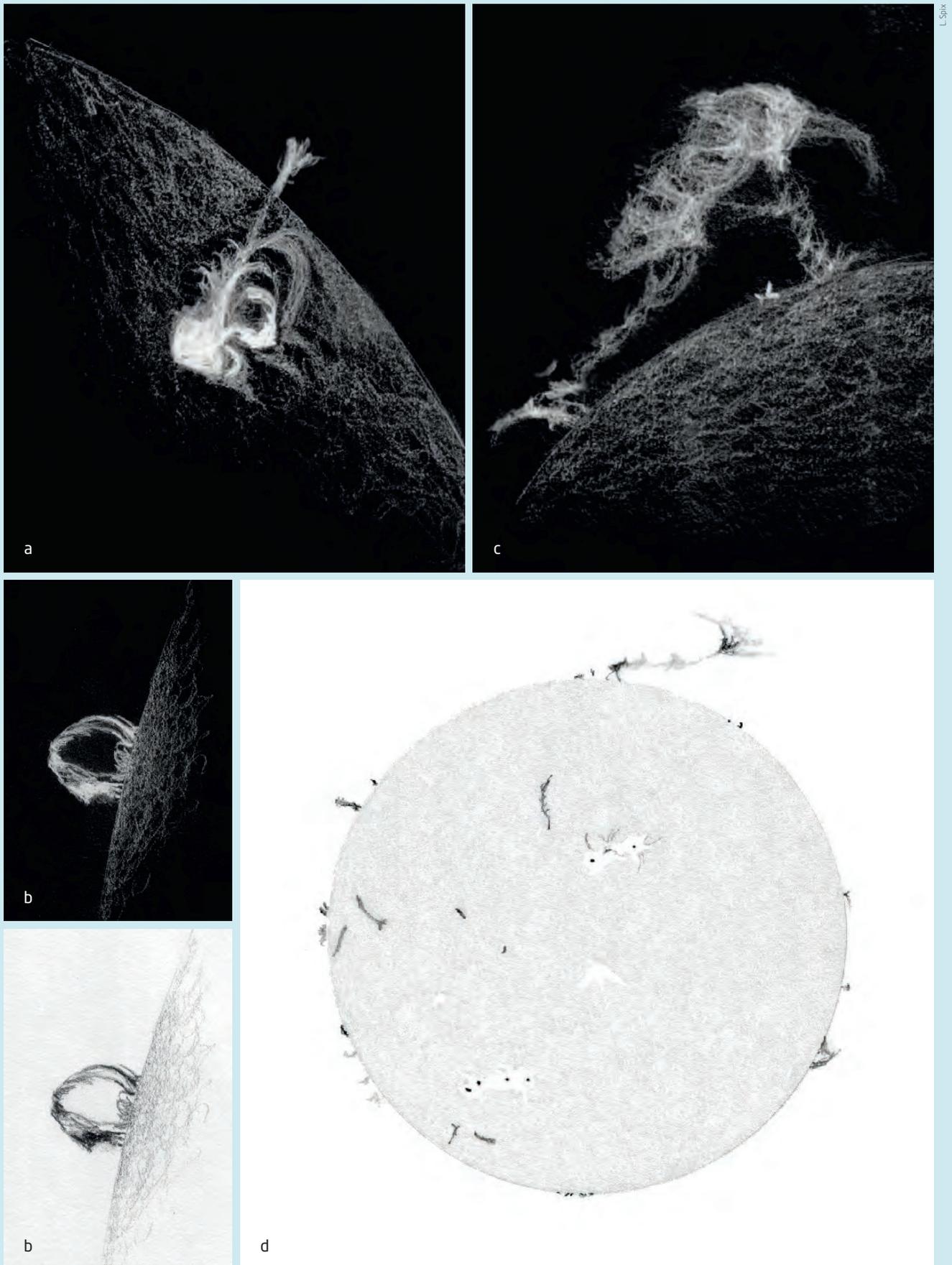
INTERAKTIV



Senden Sie uns Ihre Sonnenzeichnungen. Alle Einsendungen werden auf sonneaktuell.de veröffentlicht!

☞ www.interstellarium.de/

fotos.asp?foto=aktuellezeichnung



L. Spix

▲ Abb. 4: Im Laufe der Jahre sammeln sich mit etwas Glück einige Highlights an, an die man sich gerne erinnert, z.B. ein Flare der Stärke X3 am 8.9.2005, 12:15 MESZ, Coronado PST mit Binoansatz, ca. 50× (a), die große Bogenprotuberanz am Sonnenrand vom 2.5.2009, 13:00 MESZ, Coronado PST, 16× – 50× (b), die größte eruptive Protuberanz der letzten Jahre vom 13.4.2010, 10:30 MESZ, Lunt 35, 50× (c), und die Gesamtsonne mit großer Protuberanz am 17.2.2011, 11:45 MEZ, Lunt 35, 16× – 50× (d).

Sonnenrand im Fokus

Die Beobachtung und
Fotografie randnaher
Phänomene

von Ralf Gerstheimer

R. Gerstheimer

Spektakuläre Explosionen, gewaltige Lichtblitze und atemberaubende Gasfontänen zeugen von den Urgewalten, die das Bild der Sonne prägen. Besonders gut lassen sich solche spektakulären Phänomene am Rand oder in randnahen Regionen beobachten, wo Perspektive und Kontrast eine Vielzahl von Strukturen und Details der Sonnenoberfläche freigeben. Mit einer astronomischen Ausrüstung, die heutzutage auch schon für weniger betuchte Beobachter erschwinglich ist, kann man nicht nur ihre bizarre Schönheit genießen, sondern auch eine Menge über die Sonne erfahren.

Da ist nichts!« – das war die Erkenntnis eines Besuchers der Kasseler Herbstmesse im September 2008, die er seinen Begleitern zuteilwerden ließ, nachdem er auf dem Stand der Kasseler Astronomen den Blick auf die Sonne durch ein 320mm-Spiegelteleskop werfen durfte.

Zugegeben, im Minimum 2008 war die Sonne an jenem Tag praktisch fleckenfrei. Dennoch hätte unser Besucher mit etwas Ruhe und Geduld durchaus einige interessante Einsichten in die Physik unseres Zentralgestirns gewinnen können. Warum aber Ruhe und Geduld? Es liegt in der Natur des Objekts Sonne, dass manche Strukturen wie etwa große Sonnenflecken augenfällig und leicht erkennbar sind. Viele Phänomene zeigen dagegen wenig Kontrast oder sind auf den ersten Blick so unscheinbar, dass sie leicht übersehen werden können.

Deshalb ist es wichtig, sich Zeit zu nehmen, den Augen Gelegenheit zur Gewöhnung zu geben und sich nicht durch die Wirkung des Gesamteindrucks von der Detailwahrnehmung und dem Studium von Feinstrukturen ablenken zu lassen.

Randverdunkelung

Eine der am einfachsten sichtbaren, gleichzeitig aber sehr leicht zu übersehenden Erscheinungen der Photosphäre ist ihre abnehmende Helligkeit von der Scheibenmitte hin zum Rand. Die Helligkeit beträgt am Rand nur noch ca. 40% des Wertes in der Scheibenmitte. Diese Randverdunkelung oder Mitte-Rand-Variation ist schon mit einer einfachen Sonnenfilterbrille oder im Teleskop (unter Verwendung eines geeigneten Weißlichtfilters zur Dämpfung des Sonnenlichtes) erkennbar.

Photosphärische Randfackeln

Die Randverdunkelung erschließt ein häufig beobachtbares Phänomen im weißen Licht der Sonne: die Sichtbarkeit heißer Fackelgebiete. Sonnenfackeln sind helle Strukturen, die auf der Photosphäre praktisch nur in Randnähe sichtbar sind,

◀ **Abb. 1: Der Sonnenrand ist täglicher Schauplatz der Sonnenaktivität** und damit ein bevorzugtes Ziel der Sonnenbeobachter. Am 19.3.2011 stieg innerhalb kurzer Zeit eine ruhende Protuberanz auf und schleuderte große Mengen Plasma in den Weltraum. Ein Teil des Gases fiel wieder zurück zur Oberfläche.

in seltenen Fällen aber auch im Zentrum in der Umgebung von Sonnenflecken auftreten. Ihr Aussehen variiert von flächig über netzartig verknüpft bis hin zu vereinzelt kleinen Punkten.

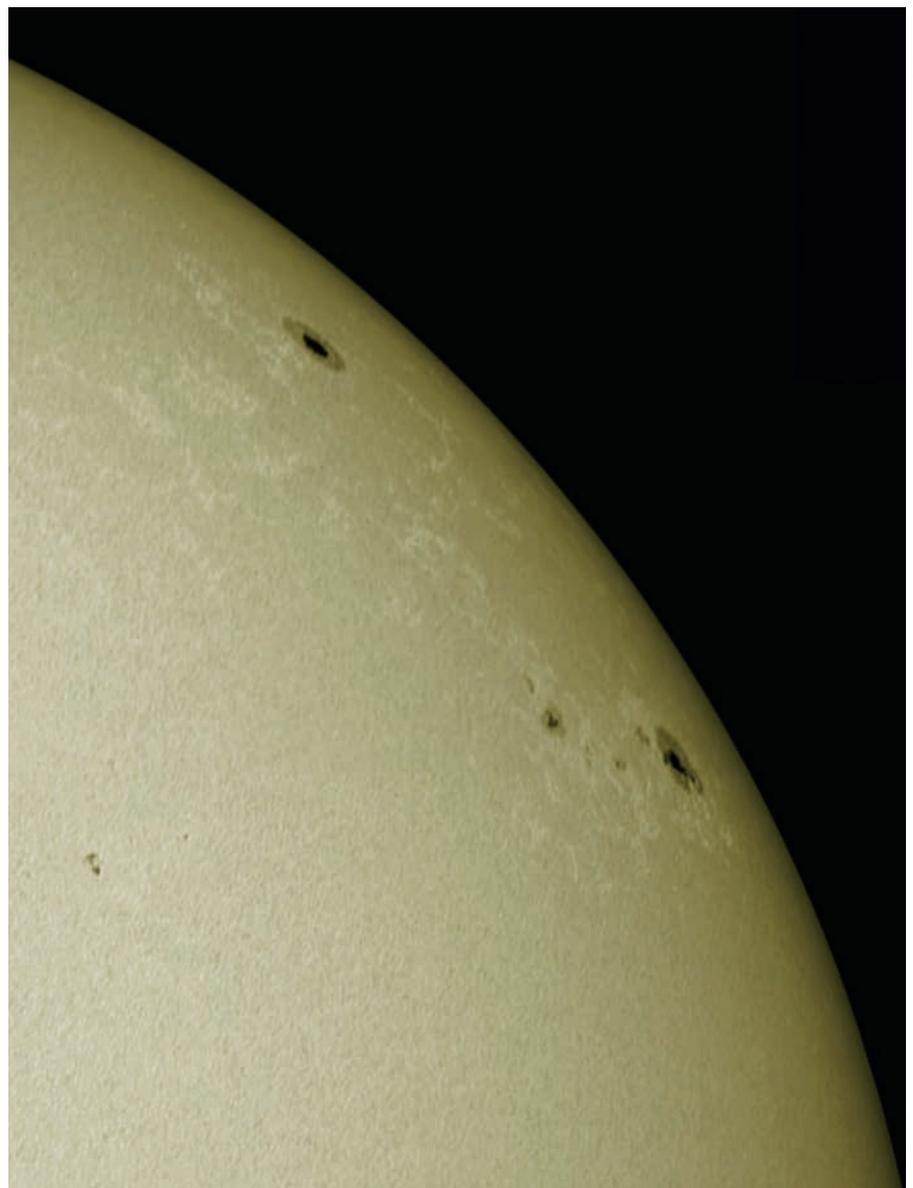
Untersucht man Fackeln mit einem mittelgroßen Teleskop bei hoher Auflösung, entpuppen sich flächige Gebiete als Ansammlung von hellen Punkten etwa in der Größenordnung von Granulen – der körnigen Struktur der Sonnenoberfläche, in deren hellen Zentren heißes Gas aus dem Sonneninneren an die Oberfläche strömt, wo es abkühlt und an den dunkleren Rändern wieder absteigt. In der Tat handelt es sich bei einzelnen Fackeln um Aufhellungen an den Flanken von Granulen, die aufgrund der Perspektive am Sonnenrand besser erkennbar sind.

Magnetographische Messungen und extrem hoch aufgelöste Aufnahmen, beispielsweise des schwedischen Vakuum-Sollarteleksops auf La Palma, legen nahe, dass



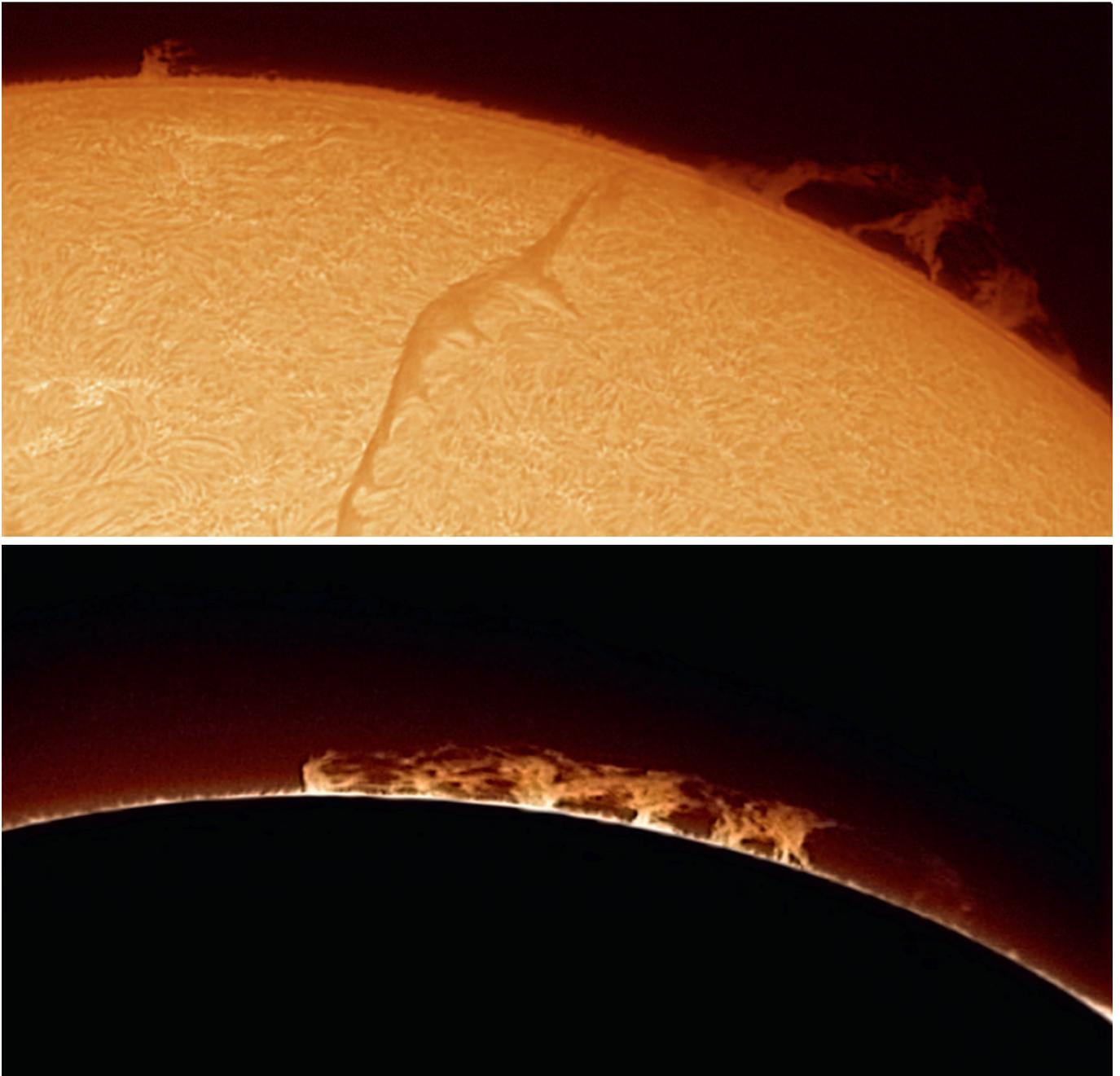
▲ **Abb. 2: Auf dieser Aufnahme** vom 24.3.2010 ist die Abnahme der Helligkeit zum Sonnenrand hin deutlich zu erkennen. Sie beträgt dort nur noch 40% der Helligkeit in der Sonnenmitte.

▼ **Abb. 3: Randfackeln als helles Netzwerk** in der Umgebung einer Sonnenfleckengruppe am 21.10.2011. Je näher sie sich am Sonnenrand befinden, umso deutlicher treten sie zutage.



R. Gerstmeier

R. Gerstmeier



▲ Abb. 4: **Ruhende Protuberanzen bzw. Filamente** können sich über eine Länge von mehreren 100000km erstrecken und dabei eine eigentümliche hecken- oder viaduktartige Struktur aufweisen. Oben: Protuberanz in Seitenansicht am 4.8.2011. Unten: Filament am 11.11.2011, das sich über ca. 700000km bis hinter den Sonnenrand erstreckte. Gut erkennbar sind die Schmalheit der Struktur und die scheinbare Separierung der Bögen in einzelne Flammen am Sonnenrand. Gerade bei Objekten solchen Ausmaßes sollte sich der Betrachter vor Augen führen, dass Strukturen auf einem sphärischen Körper in der Sichtlinie erheblich verkürzt erscheinen, ganz besonders in Randnähe.

Fackeln als die heißen Innenseiten senkrecht aufsteigender, kleinräumiger magnetischer Flussröhren gedeutet werden können. Diese lokalen Konzentrationen des Magnetfeldes bewirken einen geringeren Gasdruck in diesem Bereich und somit auch eine Verminderung der optischen Dicke, so dass man tiefer in die Photosphäre hineinsehen kann. Bei seitlicher Betrachtung, wie sie sich am Sonnenrand ergibt, heben sich die helleren Innenseiten der Flussröhren als Projektionen auf die benachbarten Granulen ab.

Verformte Sonnenflecken

Eine auf den ersten Blick unauffällige Erscheinung im Weißlicht, die ebenfalls nur im Randbereich zu sehen ist, resultiert wie das Phänomen der Randfackeln aus der perspektivisch unterschiedlichen Betrachtung von Sonnenflecken. Diese Bereiche hoher magnetischer Feldkonzentration gliedern sich in einen inneren, sehr dunklen Bereich, die Umbra, und einen helleren äußeren Hof, die Penumbra.

Wilson [1] entdeckte 1769 beim Studium der Sonne, dass rundliche Sonnenflecken in

der Mitte der Sonnenscheibe noch eine symmetrische Gestalt besitzen, sich bei der Wanderung zum Rand aber so verformen, dass die zum Zentrum weisende Hälfte des Penumbrarings schmaler wird, die zum Rand weisende Hälfte hingegen fast unverändert bleibt. Dieser nach ihm benannte Effekt resultiert aus der Veränderung der Beobachtungsperspektive sowie aus dem starken Magnetfeld der Umbra. Es bewirkt die Absenkung der Temperatur (um ca. 2000°C) und eine Verminderung der optischen Dicke, so dass man weiter in die Photosphäre

► Abb. 5: Typische Formen ruhender Protuberanzen: a) Fächer, b) Vorhang, c) Bogen, d) Flamme oder Pyramide, e) Schleife, f) irregulär oder schwebend.

hineinsehen und Strahlung aus mehreren hundert Kilometern Tiefe empfangen kann. Der Eindruck, die Umbra läge tiefer, ist also nur scheinbar. Kleine Sonnenflecken zeigen keinen Wilson-Effekt, da die Magnetfeldstärke nicht hoch genug ist.

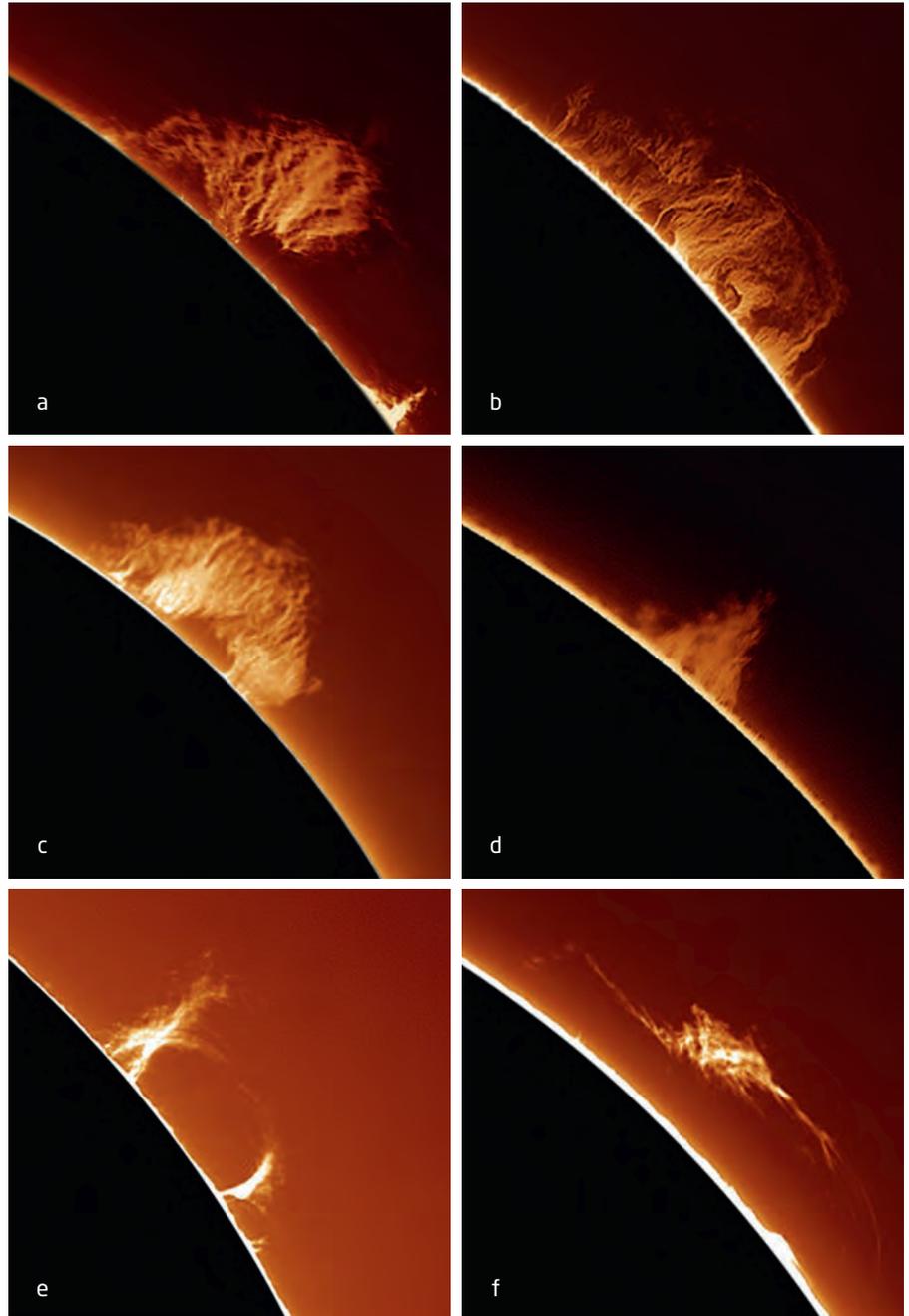
Protuberanzen

Erst das Studium der Chromosphäre mit Teleskop und einem speziellen, sehr schmalbandigen H α -Filter offenbart die faszinierende Dynamik von Plasmaströmen und Strahlungsausbrüchen in einer bizarren Welt, die aus heißen, in komplexen Magnetfeldern gefangenen Gasen besteht.

Protuberanzen sind dabei die auffälligsten Strukturen. Die vielfältigen Formen, ihr Verharren in einem magnetischen Korsett oder die urplötzliche Entfesselung der innewohnenden Kräfte machen sie zu einem lohnenden und gleichzeitig beeindruckenden Beobachtungsobjekt. Sie entstehen im Übergangsbereich von Photo- und Chromosphäre, heben sich hell gegen den Himmelshintergrund ab und reichen bis weit in die Korona hinein. Als sogenannte Filamente erscheinen sie häufig als dunkle, mehr oder weniger gewundene Bänder von teilweise beachtlicher Länge vor der Sonnenscheibe. Wasserstoffgas, das im Sonneninneren und in der Korona als Plasma mit guter elektrischer Leitfähigkeit vorliegt, wird dort entlang magnetischer Feldlinien geführt.

Protuberanzen können tage- oder sogar wochenlang fast bewegungslos im Magnetfeld verharren oder in weiten Bögen und Vorhängen aufsteigen, um dann an anderer Stelle wieder zur Oberfläche zurückzuströmen. Wenn Magnetfeldbündel aufreißen und dabei große Energiemengen freisetzen, werden die Gaswolken explosionsartig beschleunigt und ins Weltall hinaus katapultiert. Nicht selten entwickeln sich solche eruptiven Protuberanzen urplötzlich aus ruhenden Protuberanzen, die über einen längeren Zeitraum fast unverändert geblieben waren.

Obwohl es keine einheitliche Klassifikation für die unterschiedlichen Ausprägungen von Protuberanzen gibt, findet man zumeist eine Typisierung nach Peter Völker [2] oder nach Harold Zirin [3]. Nach Völker werden die einzelnen Protuberanzen gemäß Größe



(klein, groß, ungewöhnlich groß), Gestalt (stabförmig, bogenförmig, flächig) und Bezug zur Oberfläche (Kontakt zur Oberfläche oder nicht) geordnet. Darüber hinaus berücksichtigt dieses System das gemeinsame Auftreten benachbarter Protuberanzen, die dann als Herd betrachtet werden. Die Klassifizierung nach Zirkin, die im Folgenden verwendet wird, unterscheidet grundsätzlich zwischen ruhenden und aktiven Protuberanzen.

Ruhende Protuberanzen

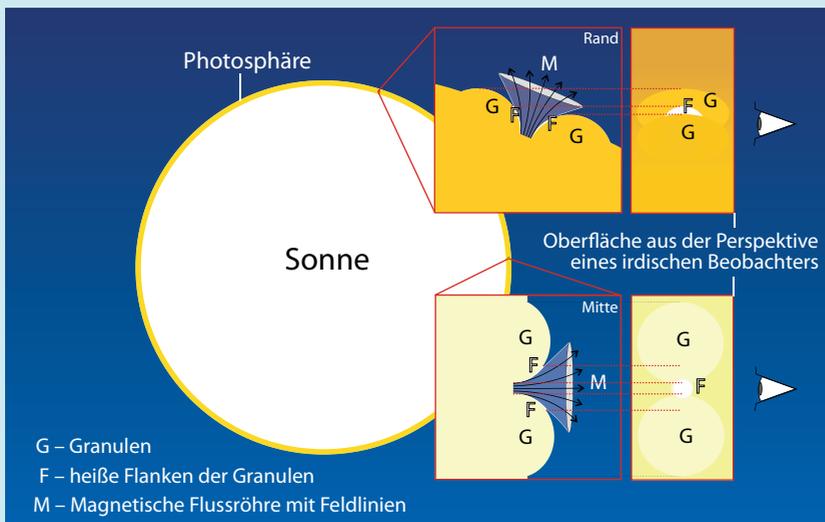
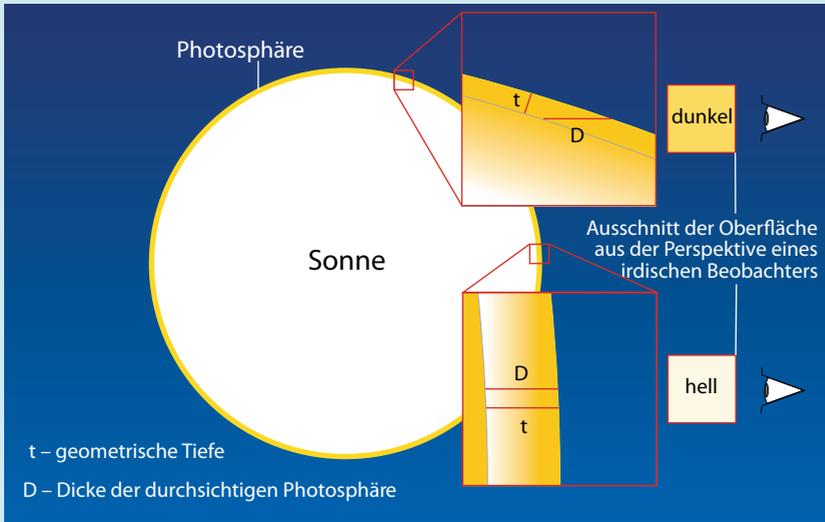
Zu den größten Strukturen in der Sonnenatmosphäre zählen die langgestreckten, in der Seitenansicht an Brücken, Hecken oder Viadukte erinnernden Filamente bzw. Protuberanzen, die sich in einer Höhe bis ca. 40000km beinahe über die gesamte

Sonnenhemisphäre ziehen können. Entlang der Bögen strömt Materie, die von lokalen Magnetfeldern geleitet wird. Solche Protuberanzen können erstaunlich langlebig sein und zwei bis drei Sonnenrotationen überdauern. Von oben betrachtet, wie es über der Sonnenscheibe der Fall ist, entpuppen sich die Bögen als schmale Lamellen. Häufig lösen sich die Bereiche zwischen den »Brückenpfeilern« auf, so dass aneinandergereihte, einzelne Flammen oder Pyramiden übrig bleiben.

Häufiger zeigen sich ruhende Protuberanzen lokal abgegrenzt und weniger formstabil. Das Auf- und Absteigen der Materie lässt sich über mehrere Stunden hinweg verfolgen, partiell können auch größere Veränderungen stattfinden. Die Struktur ist zumeist eigentümlich fadenförmig und in ihrer Gestalt

IM DETAIL

Sonnenrand und Perspektive



▲ Am Sonnenrand blickt man in flachere Gebiete der Photosphäre als in der Mitte der Sonnenscheibe (oben). Dieser Effekt begünstigt die Wahrnehmung heller Randfackeln, da die zwischen den Granulen der Sonnenoberfläche liegenden hellen Flanken der magnetischen Flussröhren sichtbar werden (unten).

Die Photosphäre ist für einen Beobachter auf der Erde nur bis zu einer bestimmten Dicke durchsichtig. In der Sonnenmitte blickt man deshalb tiefer auf heiße, helle Schichten, am Rand dagegen auf vergleichsweise kühlere Schichten. Ein Ausschnitt der Oberfläche, dargestellt als Quadrat in Blickrichtung, erscheint am Rand folglich dunkler als in der Mitte. Diese Perspektive hilft bei der Beobachtung von Fackeln am Sonnenrand: Zwischen den Granulen ragen heiße magnetische Flussröhren senkrecht aus der Oberfläche heraus. Die Projektion der heißen Innenwände der Flussröhre auf die Flanken der Granulen führt zu

Aufhellungen an den Seitenwänden der Granulen. Am Rand zeichnen sich für einen Beobachter auf der Erde die hellen Flanken deutlich gegen die dunklen Granulen bzw. die Oberfläche (Randverdunklung) ab. In der Sonnenmitte dagegen sind die Oberseiten der Granulen praktisch gleich hell wie die seitlichen Aufhellungen. Außerdem erscheinen die Innenwände der Flussröhren perspektivisch verkürzt, wenn sie von oben betrachtet werden. Die Fackeln sind daher für den Beobachter nicht von den hellen Granulen bzw. der Oberfläche zu unterscheiden und somit unsichtbar. Insgesamt erscheint die Oberfläche hell und kontrastarm.

erinnern diese Wolken an Vorhänge oder Fächer. Sehr typisch sind auch Bögen, Flammen bzw. Pyramiden oder Schleifen (engl. Loops) wie in Abb. 5.

Viele Protuberanzen lassen sich jedoch nicht eindeutig den idealisierten Grundformen zuordnen, zumal diese nur Zwischenstadien widerspiegeln. Geöffnete Bögen oder schwebende Fragmente sind nur zwei Beispiele für zahllose Variationen.

Aktive Protuberanzen

Nicht selten entwickeln Protuberanzen, die über einen längeren Zeitraum kaum Veränderung gezeigt hatten, unvermittelt eine ungeheure Dynamik. Innerhalb von Minuten bis Stunden steigen große Mengen Plasma weit über die Sonnenoberfläche auf, und aus einer ruhenden ist in kürzester Zeit eine eruptive Protuberanz geworden. Die Materie kann in vielen Fällen die Sonne verlassen und als Koronaler Massenauswurf (CME) weit in das Sonnensystem vordringen, wo es häufig zu Wechselwirkungen mit den Planeten kommt.

Surges

Obwohl die eruptiven Protuberanzen zu den imposantesten Erscheinungen am Sonnenrand zählen, stößt der aufmerksame Beobachter in Zeiten verstärkter Sonnenaktivität gelegentlich auf einen ganz eigenen, nicht weniger eindrucksvollen Typus von Ausbrüchen, der als Spritzprotuberanz oder Surge bezeichnet wird. Ausgelöst wird er durch kurzzeitige lokale Strahlungsausbrüche, die als Flares bekannt sind. Sie treten zumeist in komplexen Sonnenfleckengruppen auf und sind aufgrund ihres gleißenden Lichtes gut zu beobachten. Das Aussehen von Flares erinnert in der Sonnenmitte an

► Abb. 7: Massive Protuberanz am 19.3.2011, aus der sich wenig später ein Koronaler Massenauswurf entwickelte. Selbst in der Ca-K-Linie trat die Protuberanz außergewöhnlich deutlich hervor (rechts). Sie trat zunächst als bogenförmige Plasmawolke in Erscheinung. Auffallend war jedoch die massive Ausprägung, die sich in einer enormen Helligkeit, scharfem Kontrast und selten zu beobachtender räumlicher Tiefe äußert. Nach der spektakulären Eruption an der östlichen Flanke, die in Abb. 1 festgehalten ist, riss die Protuberanz große Mengen an Plasma mit sich und schleuderte sie in den Weltraum. Ein Teil des Materials wurde dagegen wieder in großem Bogen zurück zur Oberfläche geführt.

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

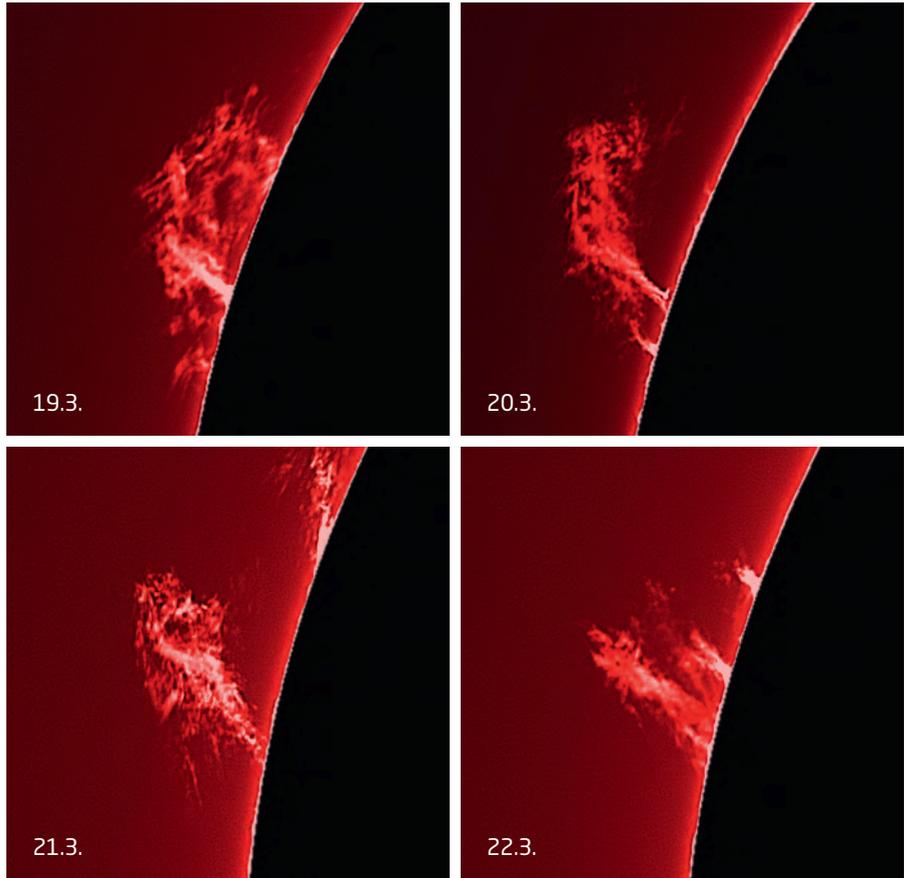
► Abb. 6: Über mehrere Tage hinweg löste sich diese Protuberanz nach und nach vollständig auf, der Zeitraum vom 19.3. bis 22.3.2012 konnte dabei dokumentiert werden. Hier lässt sich gut verfolgen, wie es infolge des Materieflusses langsam zu Formveränderungen kommt: Zunächst öffnet sich der Bogen (19.3.) zu einer baum- oder fächerförmigen Struktur (20./21.3.), deren »Kronenbereich« sich allmählich ausdünnt und ablöst (22.3.).

klaffende Risse oder Adern, am Sonnenrand dagegen kündigen sie sich als helle, von innen heraus aufleuchtende Aufwallungen an. Einen Eindruck davon vermittelt die Aufnahme in Abb. 9, wo sich in unmittelbarer Nähe einer Plasmafontäne bereits ein weiterer Ausbruchsherd entwickelt.

An solchen Stellen wachsen hell leuchtende »Hügel« heran, aus denen in rascher Folge gebündelte Fontänen und Schleifen aufsteigen und wieder in sich zusammenfallen. Oft lassen sich einzelne Spritzer verfolgen, die auf Bogenbahnen wieder zurück zur Oberfläche herabregnen und an Magma speiende Vulkane auf der Erde erinnern.

Der englische Begriff Surge (»Brandung«) vergleicht die Plasmafontänen dagegen mit Wasser, das an einer felsigen Brandung nach allen Seiten wegspritzt und zurück auf den Boden regnet. Wenn die Materie so stark beschleunigt wird, dass sie die Sonne verlassen kann, spricht man von Spray (dt. Gischt). In der Praxis ist es für den Amateur jedoch nicht immer einfach zu entscheiden, ob Materie die Sonne tatsächlich verlassen hat oder nicht, so dass die Grenzen zwischen Surge und Spray fließend bleiben.

Aufgrund ihrer Assoziation mit Sonnenflecken sind Spritzprotuberanzen auch

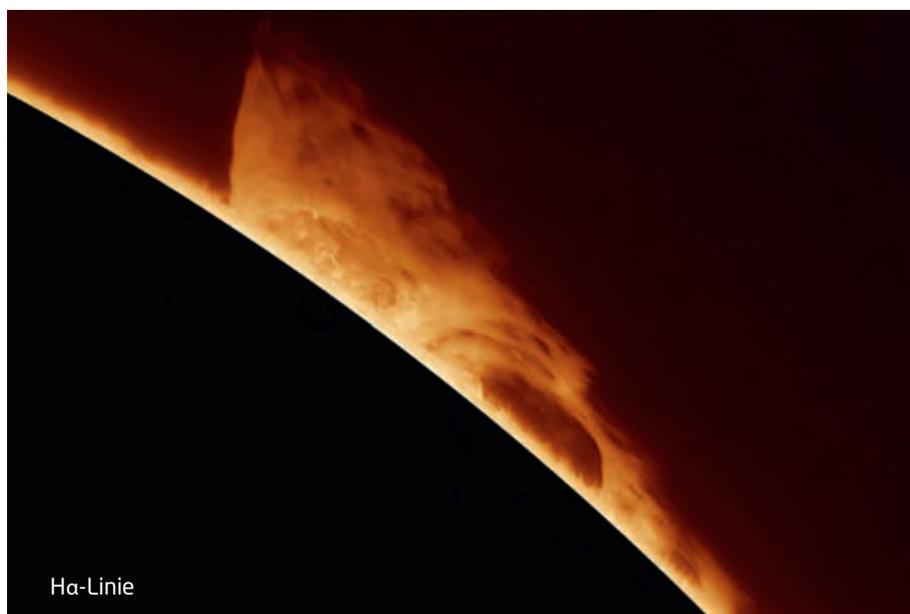


innerhalb der Ca-K-Linie leicht zu erkennen und in diesem zur Beobachtung von Protuberanzen gewöhnlich wenig geeigneten Wellenlängenbereich gut zu verfolgen. Abb. 10a liefert den Beleg dafür anhand einer weiteren Aufnahme der aktiven Region NOAA 11165 vom 18.3.2011.

Spikulen, der Flammenrand der Sonne

Auch der Spikulensaum am Sonnenrand stellt ein perspektivisches Phänomen

dar, ähnlich Grashalmen auf einer Wiese, wenn sie von der Seite betrachtet werden. In Wirklichkeit steigen sie jedoch in den Randbereichen der mit ihnen assoziierten Supergranulationszellen auf, wo sie in Aufsicht praktisch nicht erkennbar sind. Bei der Supergranulation handelt es sich um großräumige, übergeordnete Konvektionszellen, die besonders gut im Licht der Ca-K-Linie sichtbar sind (Abb. 10b). Die zu jeder Zeit beobachtbaren Spikulen haben einen scheinbaren Durchmesser von weniger als einer Bogensekunde (das entspricht einem

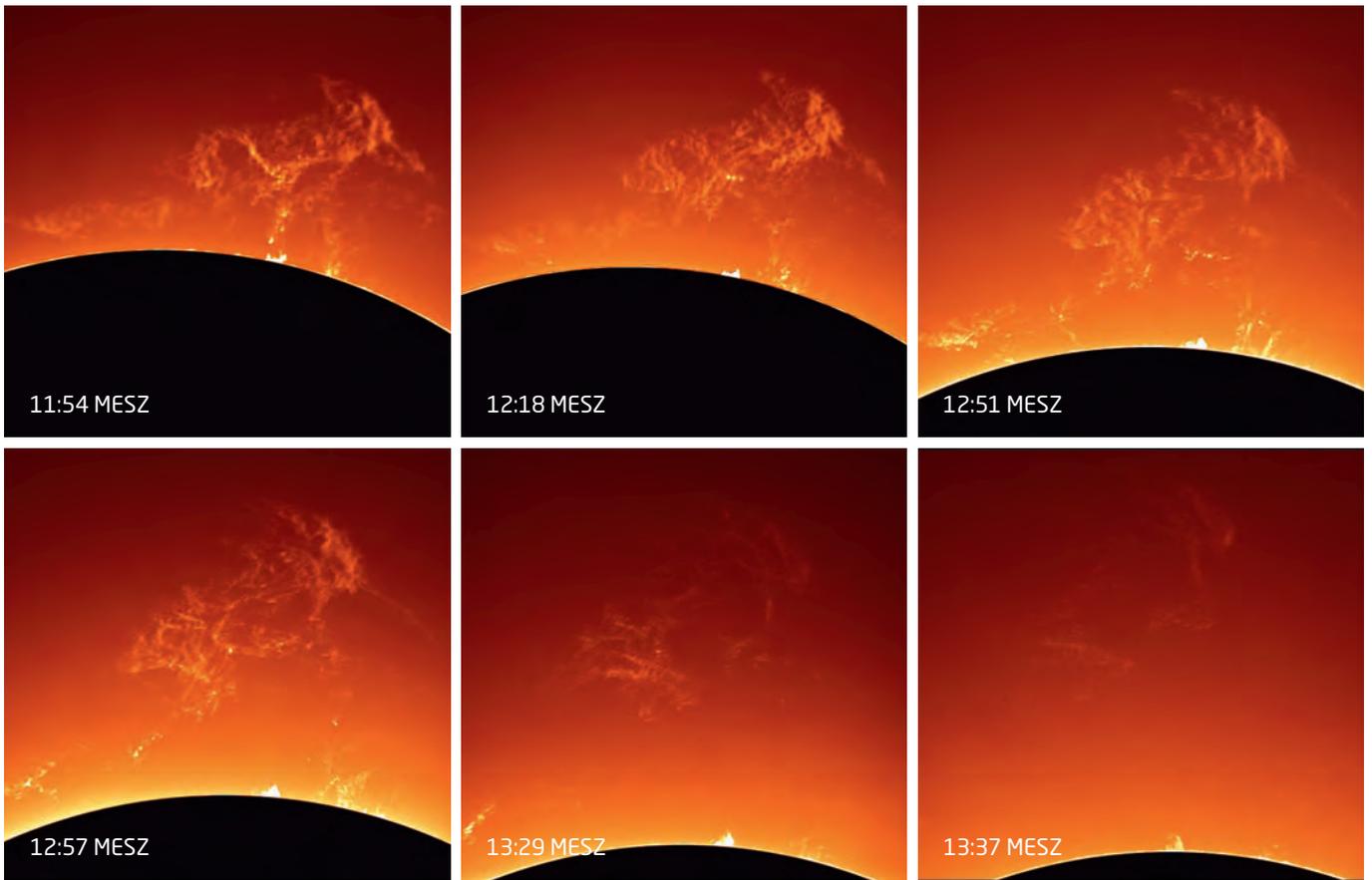


R. Gerstner

R. Gerstner

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

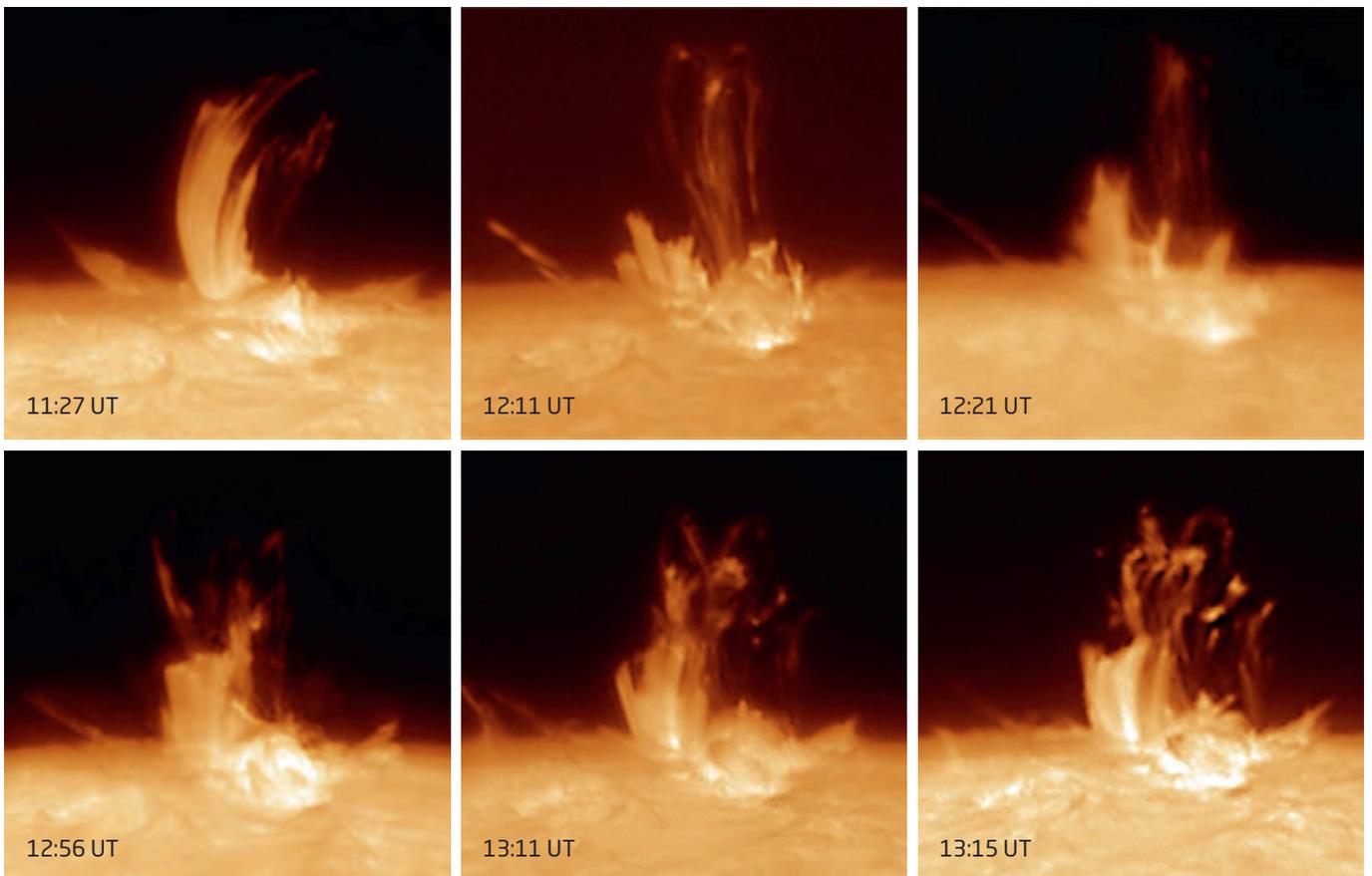
R. Gerstheimer



▲ Abb. 8: Eruption einer Protuberanz am 13.4.2010 zwischen 11:54 MESZ und 13:37 MESZ. Hierbei wurde vermutlich sämtliches Wasserstoffplasma als Massenauswurf von der Sonne fortgeschleudert. Ausgangspunkt ist auch in diesem Fall ein ruhendes Filament gewesen, das plötzlich zusammengebrochen war und dadurch die gewaltige Explosion verursacht hatte.

▼ Abb. 9: Surge am 8.3.2011 aus der aktiven Region NOAA 11165, der über einen Zeitraum von 108 Minuten aufgenommen wurde.

R. Gerstheimer



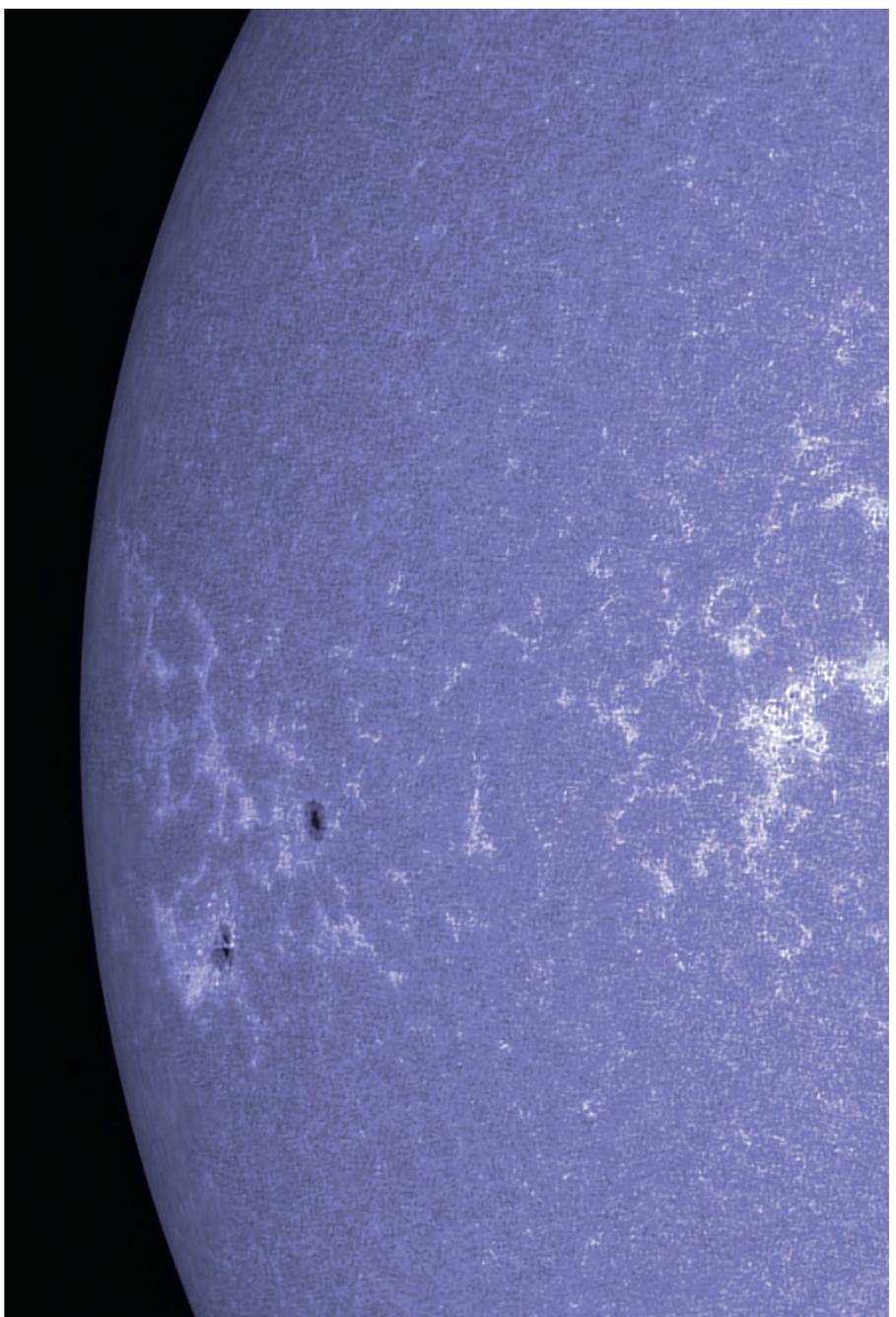
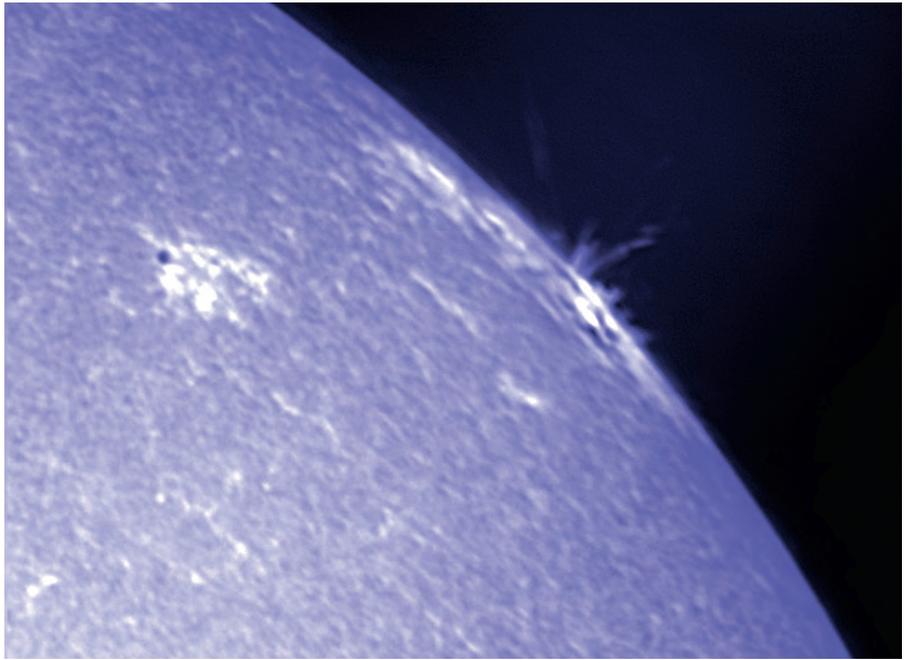
Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

tatsächlichen Durchmesser von mehreren hundert Kilometern) und eine Lebensdauer von wenigen Minuten. Sie stellen für den ambitionierten Sonnenbeobachter sowohl in Hinsicht auf das Auflösungsvermögen des Teleskops und als auch in Bezug auf optimale atmosphärische Bedingungen eine ganz besondere Herausforderung dar. Nur selten zeigt sich der Saum aus Spikulen in einzelne Nadeln oder Spitzen aufgelöst.

Aber auch für die Wissenschaft ist die Deutung dieser Plasmajets, die mit bis zu 80000km/h in die Korona schießen, ein anspruchsvolles und immer noch nicht vollständig gelöstes Rätsel. Nach neueren Erkenntnissen werden Spikulen durch Beben im Sonneninnern ausgelöst, die sich als Schallwellen in der Atmosphäre fortsetzen. Zudem scheinen sie eine wichtige Rolle bei der Aufheizung der Korona zu spielen, da in den Röhren der Spikulen extrem heißes Gas transportiert wird. Dadurch könnte teilweise erklärt werden, woher der Temperaturunterschied kommt zwischen der nur ca. 5500°C heißen Photosphäre und der Korona, wo Temperaturen von etwa einer Million Grad Celsius herrschen.

- [1] Wilson, P.R.; McIntosh, P.S.: What is the Wilson Effect? *Solar Physics* 10, 370 (1969)
- [2] Völker, P.: Die Protuberanzenbeobachtung des Amateurs, *VdS-Nachrichten* 19, 14 (1970)
- [3] Zirin, H.: *Astrophysics of the sun*, Cambridge University Press, Cambridge/New York/New Rochelle/Melbourne/Sydney (1988)
- [4] Banisch, J.: *Die Sonne*, Oculum-Verlag, Erlangen (2009)
- [5] Roth, G.D.: *Handbuch für Sternfreunde*, Springer Verlag (1989)
- [6] Scholz, M.: *Kleines Lehrbuch der Astronomie und Astrophysik*, Eigenverlag (2009)
- [7] Zimmermann, H., Weigert, A.: *Lexikon der Astronomie*, Spektrum-Verlag, Heidelberg Berlin (1995)

► Abb. 10: **Spritzprotuberanz am 8.3.2011**, aufgenommen durch einen Ca-K-Linienfilter. Anders als bei gewöhnlichen Protuberanzen (Filamenten) ist eine Beobachtung auch in diesem Spektralbereich lohnend. (oben) Auf der Aufnahme vom 26.8.2011 sind die Supergranulationszellen durch die hellen Linien des chromosphärischen Fackelnetzwerkes umrissen. Sie gelten als diejenigen Bereiche, an denen Spikulen durch die Chromosphäre stoßen. (unten).



R. Gerstner

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

Ein Turm für die Sonne

Das Robotic Solar Observation Telescope

von Thomas K. Friedli,
Patrick Enderli und Kurt Niklaus



Dr. T. K. Friedli

▲ Abb. 1: Der Sonnenturm Uecht mit aufgesetzter Kuppel sowie zahlreichen Kameras und Zusatzgeräten auf dem Mast und an den Geländern der Dachterrasse. Die nach außen versetzten einzelnen Bauelemente sind jeweils unten offen, so dass heiße Luft, welche an den Metallwänden aufsteigt, harmlos ins Innere des Gebäudes strömt und nicht vor die Objektive der Kuppelinstrumente.

Der in den schweizerischen Voralpen im Naturpark Ganttrisch gelegene Sonnenturm Uecht ist ein professionell betriebenes Privatobservatorium und beherbergt das Robotic Solar Observation Telescope (*roboSOT*) zur langfristigen fotografischen Überwachung der Sonnenaktivität im Weißlicht, in CaII-K sowie in H α . Für die Nachtbeobachtung stehen zusätzliche Instrumente für Photometrie und Astrofotografie im Einsatz. Da das Observatorium über kein fest angestelltes Personal verfügt, kann das Instrumentarium auch ohne vor Ort anwesende Operateure ferngesteuert und teilweise sogar automatisch betrieben werden.

Schon seit den frühen 1980er-Jahren träumen Amateursoronnenbeobachter vom Aufbau einer möglichst lückenlosen fotografischen Dokumentation der Sonnenphotosphäre im weißen Licht. Die erhaltenen Bilddokumente sollten primär als Messplattformen zur routinemäßigen Bestimmung heliografischer Positionen und Flächen von Sonnenfleckengruppen dienen. Dies erwies sich mit dem damaligen Stand

der Technik als undurchführbar: Zu groß waren der zeitliche und apparative Aufwand in der Dunkelkammertechnik und der Bildauswertung, zu instabil die Bildqualität und die Fokussierung.

In den 1990er-Jahren wurde überdies die Produktion der bewährten Filmmaterialien und Entwicklerchemikalien eingestellt. Die nachdrängenden CCD-Kameras waren jedoch zu klein, zu teuer und erforderten einen

riesigen Mehraufwand sowohl in der mechanischen Ausstattung der Beobachtungsinstrumente wie in der für die Steuerung und Auswertung der neuen Detektoren benötigten Hard- und Software.

First Light

Im Sommer 2003 brachte Canon die EOS 300D auf den Markt, die erste einer ganzen

► Abb. 2: Die geöffnete Clamshell-Kuppel auf der Dachterrasse des Sonnenturms Uecht. Die Kuppelhälften können unabhängig von der Stellung der fünf Beobachtungsinstrumente jederzeit geöffnet und geschlossen werden. Auf der GM2000 QCI sind auf einer selbst konstruierten justierbaren Instrumentenplattform fünf Teleskope montiert, von denen drei der Sonnenfotografie und zwei der Astrofotografie in der Nacht gewidmet sind.

Reihe sog. Digital Single Lens Reflex (DSLR)-Kameras, welche die einfache Bedienung einer herkömmlichen Spiegelreflexkamera mit der Leistungsfähigkeit einer CCD-Kamera vereinigen. Anlässlich des Venusdurchgangs vom 8.6.2004 setzten wir eine dieser neuartigen Kameras zur kontinuierlichen Dokumentation dieses Jahrhundertereignisses ein: mit durchschlagendem Erfolg! Und da erwachten die alten Träume wieder zu neuem Leben.

Im Spätsommer 2004 machte Kurt Niklaus darauf aufmerksam, dass im Naturpark Gantrisch (Kanton Bern, Westschweiz) gelegenen Niedermühlern ein seit Jahren ungenutzter Sonnenturm gemietet werden könne. Nach einem Lokaltermin beschlossen Thomas K. Friedli und Kurt Niklaus, den Turm mit privaten Mitteln für die digitale Sonnenüberwachung nutzbar zu machen. Von Anfang an war klar, dass ein derartiges Vorhaben nur dann erfolgreich sein würde, wenn es gelänge, mittels Automation eine möglichst lückenlose tägliche Serie von digitalen Bilddokumenten zu akquirieren. Dies schien damals machbar zu sein, waren doch von Amateuren in Übersee bereits robotische Nachtinstrumente realisiert worden.

Und tatsächlich erlebte das Robotic Solar Observation Telescope (roboSOT) im Herbst 2005 sein First Light. Allerdings traten schon bald hartnäckige Probleme mit der Integration der Digitalkamera und der Abbildungsqualität des Hauptinstruments auf. Als dann 2008 das Überwachungsprogramm um Kalziumbeobachtungen ergänzt wurde, erwies sich die Gabelmontierung des zur Weißlichtfotografie eingesetzten Meade 10" LX200GPS als zu schwach, um das Instrumentarium sicher auf die Sonne ausrichten und nachführen zu können. Diese Designschwächen

► Abb. 3: Blick ins Innere der Clamshell-Kuppel auf die GM2000 QCI Monolith-Montierung von 10Micron sowie den FLT132-Apochromaten von William Optics mit geöffnetem Flip-Flat von Alnitak Astrosystems und den LS80THaDSPT-Refraktor von Lunt.

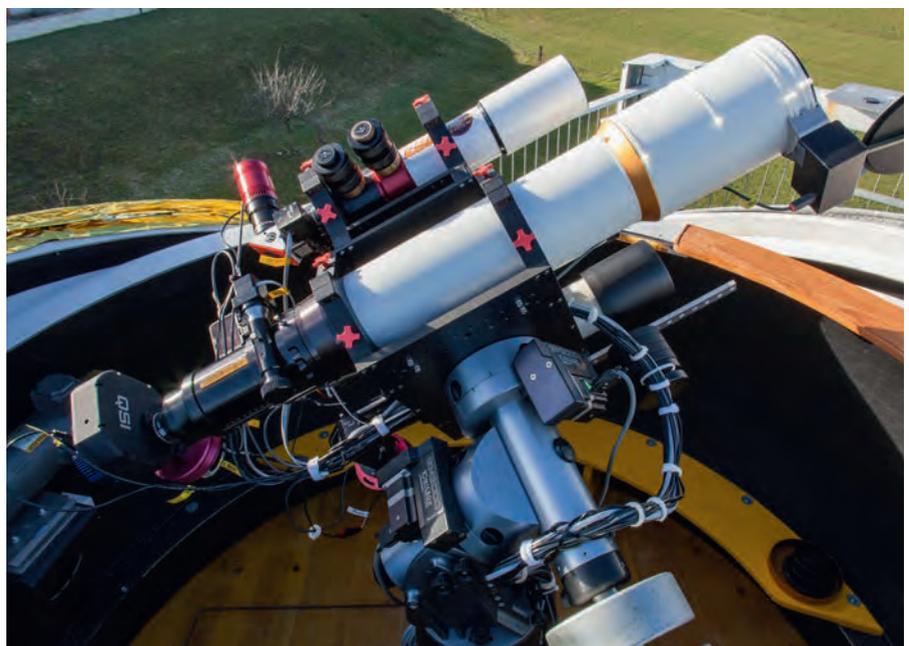


konnten erst behoben werden, als Patrick Enderli zum Team stieß und neben einer schweren Präzisionsmontierung und zwei hochwertigen Nachtinstrumenten auch seinen Enthusiasmus und seine Ausrüstung für die H α -Beobachtung mitbrachte, weshalb das Überwachungsprogramm nach einem »Second Light« im Herbst 2010 ein weiteres Mal erweitert wurde.

Der Sonnenturm Uecht

Der 12,5m hohe Turm wurde Ende der 1960er-Jahre durch das Institut für angewandte Physik der Universität Bern errichtet und diente bis 1979 der synoptischen Sonnenbeobachtung im weißen Licht sowie in H α . Im Sommer 2007 gelangte der Turm in den Privatbesitz von Thomas K. Friedli.

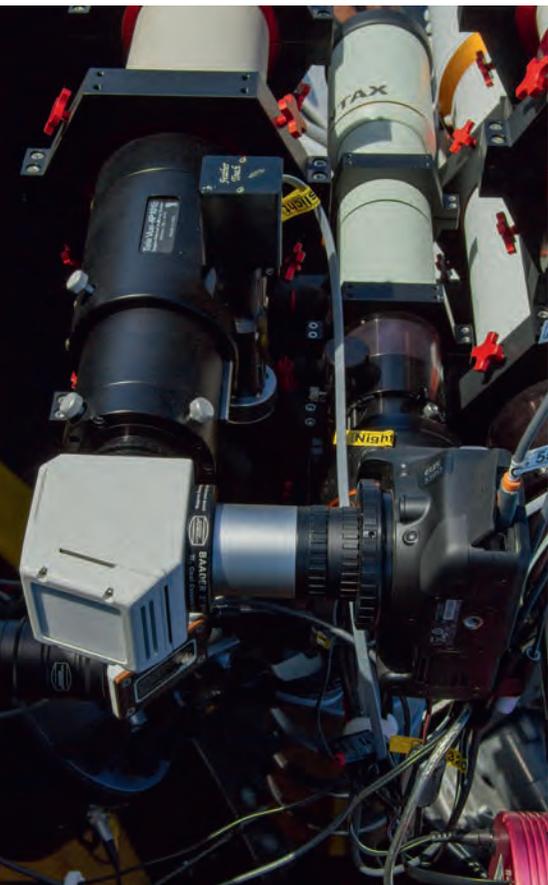
Der quadratische Instrumentensockel (Beton-Vollsäule mit 2m Kantenlänge) ist freistehend und nicht mit der Außenhülle verbunden. Diese besteht aus einer sich mehrstufig mit der Gebäudehöhe erweiternden, mit Profiblech verkleideten robusten Stahlkonstruktion, welche neben der Treppenflucht auch die beiden Beobachtungsräume sowie den Abstellraum trägt. Das Profiblech ist mit einer wärme-reflektierenden Spezialfarbe beschichtet, welche ein Aufheizen der Metallhülle wirksam unterbindet. Die über eine Dachluke erreichbare Aussichtsterrasse ist begehbar und mit einem Geländer gesichert. Die aufgesetzte Clamshell-Kuppel ist nur mit der Dachterrasse verbunden, sodass keinerlei Schwingungen des Gebäudes auf die Instrumente übertragen werden können.



P. Enderli

P. Enderli

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



F. Enderli

▲ Abb. 4: Das untere Ende des Tele Vue NP101is-Refraktors mit dem umgebauten motorisierten Originalauszug sowie dem 2"-Cool-Ceramic-Safety-Herschelprisma von Baader. Daran anschließend die für den stationären Betrieb ausgerüstete EOS 550D-DSLR-Kamera von Canon. Die 2"-Barlowlinse von Astro-Physics sowie die zusätzlichen Neutralfilter und der 2" Solar Continuum Filter von Baader sind nicht direkt sichtbar im Strahlengang verbaut.

Zur Überwachung der Bewegungen der Kuppel, der Instrumente und zur Wetterbeobachtung stehen vier Mobotix-Webcams und eine All-Sky-Kamera mit beige-stelltem Sky Quality Meter sowie eine Davis Vantage Pro2 Plus/Aktiv-Funkwetterstation und ein Boltwood Cloud Sensor II im Einsatz. Eine Kamera sitzt in der Kuppel mit Blick von Osten auf die Instrumente und den Kuppelspalt (»Dome«), eine zweite blickt vom Geländer in Richtung Nordosten (»Niedermühlern«), eine dritte vom Geländer in Richtung Nordwesten (»Chasseral«) und eine vierte vom Mast in Richtung Süden (»Uecht«).

Die Kuppel

Die kleine Fiberglaskuppel der kalifornischen Firma Astro Haven wurde im Spätsommer 2005 publikumswirksam mithilfe eines Helikopters auf die Dachterrasse des

Sonnenturms gehievt. Das »Clamshell Design« – bei welchem die beiden segmentierten Kuppelhälften vollständig nach unten gefahren werden können und so den gesamten Himmel freigeben – sorgt für einen raschen thermischen Ausgleich der Luft. Dies ist ein erheblicher Vorteil bei Tagbeobachtungen, da der Luftaustausch nicht erst mühsam durch einen schmalen Kuppelspalt erfolgen muss. Die Kuppel bietet mit 2,1m Innendurchmesser allerdings keinen Platz für Beobachter oder interessierte Besucher. Der Zugang zum Innern erfolgt entweder durch eine »Notluke« im Boden, oder man klettert über den Rand des Unterbaus. Das Öffnen und Schließen der Kuppel besorgen zwei starke Elektromotoren, welche über einen von Thomas K. Friedli geschriebenen ASCOM-Treiber ferngesteuert werden können.

Eine Eigenheit der Kuppel ist der graue »Schlafrock«, welcher die ganze Kuppel einhüllt. Obwohl die Firma Astro Haven ursprünglich aus Kanada kommt und damit eigentlich an Schnee und Eis gewohnt sein sollte, ist die Kuppelkonstruktion nicht wirklich wintertauglich: Flugschnee findet durch die Zwischenräume bei den Achslagern ohne Probleme den Weg ins Innere und auf die Instrumente. Durch die von einem Bootsbauer aus einer Lastwagenplane maßgefertigte Abdeckung kann dies nun wirkungsvoll unterbunden werden.

Die Montierung

Im Innern der Kuppel ruht auf einer selbst konstruierten nivellierbaren Stahlsäule eine schwere GM2000-Montierung, auf deren Instrumentenplattform fünf Refraktoren angebracht sind, von denen drei ausschließlich der digitalen Sonnenfotografie im Weißlicht, in CaII-K sowie in H α gewidmet sind. Der große FLT 132-Apochromat von William Optics mit 132mm Öffnung und 925mm Brennweite ist mit einer QSI 683wsg-8 CCD-Kamera ausgerüstet, welche mit einem BVRI-Filtersatz von Baader Planetarium für fotometrische Arbeiten sowie mittels einem Astronomik-12nm-Filtersatz in H α , [OIII] und [SII] für die Schmalband-Astrofotografie genutzt werden kann. Mittels einer Atik 320e CCD-Kamera am Off-axis-Ausgang der QSI-Kamera können die Instrumente zudem während längerer Aufnahmen automatisch nachgeführt werden. Ein robotischer »Flip-Flat« von Alnitak Astrosystems dient zugleich als beleuchteter Flatfield-Hintergrund wie als automatischer Deckel für den Tagesbetrieb. Ein Pentax 75 SDHF-Refraktor dient der

Großfeldastrofotografie. Hierzu wurde er mit einem robotischen Feather-Touch-Okularauszug von Starlight Instruments nachgerüstet und mit einer Celestron NightScape 10100 CCD-Kamera bestückt.

Die justierbare Instrumentenplattform wurde von Patrick Enderli entworfen und erlaubt die exakte Parallelisierung und Orthogonalisierung der vier Hauptteleskope. Die robotische Bedienung der Montierung ist nicht ganz einfach, da die GM2000 wohl ursprünglich für den mobilen Einsatz konzipiert war, trotz ihres hohen Gewichts und ihren beachtlichen Abmessungen. So wird beispielsweise die Linux-basierte Steuerung der Montierung bei der Inbetriebnahme zuerst gebootet und vor dem Ausschalten wieder heruntergefahren. Entsprechende Startup- und Shutdown-Befehle sind jedoch nicht vorhanden, da der Impuls zum Starten bzw. Herunterfahren des Betriebssystems über einen Kippschalter an der Montierung erfolgt. Für die robotische Fernbedienung des Kippschalters musste daher eigens eine externe Relaissteuerung gebastelt und ein dazu passender skriptfähiger Treiber geschrieben werden. Bis vor Kurzem war für die Fernbedienung der Montierung zudem auch kein eigener ASCOM-Treiber verfügbar. Vielmehr musste die GM2000 mit dem LX200-Protokoll oder dem Astro-Physics-Protokoll betrieben werden.

Weißlichtbeobachtungen

Die fotografische Dokumentation der Sonnenphotosphäre hat eine lange Tradition, welche mit der Erfindung des Photoheliographen durch Warren de la Rue im Jahr 1857 ihren Anfang nahm und bis in die 1970er-Jahre von zahlreichen Observatorien, insbesondere dem Royal Greenwich Observatory in Herstmonceux gepflegt wurde.

Sollen diese Messreihen mit modernen digitalen Mitteln fortgesetzt werden, so müssen hierzu täglich mosaikfreie, kalibrierte und orientierte Heliogramme mit einem Sonnendurchmesser von mindestens 2500 Pixeln aufgenommen werden.

Zwecks Einfrieren der Luftunruhe darf die Belichtungszeit zudem maximal 1/1000s betragen. Wir erfüllen diese Anforderungen mit einem Tele Vue NP101is Flatfield-Refraktor, welcher eine freie Öffnung von 101mm und eine Brennweite von 540mm besitzt. Mit Hilfe einer 2"-Barlowlinse von Astro-Physics wird die Brennweite des Refraktors auf 1436mm verlängert. Als lichtdämpfendes Helioskop wird ein 2"-Cool-Ceramic-Safety-Herschelprisma von Baader eingesetzt.

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

► Abb. 5: Die Photosphäre der Sonne im grünen Licht bei 540nm Wellenlänge am 22. April 2012 um 10:55 MESZ. Aufnahme am Tele Vue NP101is-Refraktor des Sonnenturms Uecht mit der im Text beschriebenen Ausstattung. Belichtungszeit 1/2000s. Zu sehen sind mehrere Aktivitätsgebiete mit dunklen Sonnenflecken und hellen Fackelfeldern. Auf der Sonnenscheibe lässt sich zudem stellenweise die Granulation ausmachen.

Dieses ist mit einem Baader-ND1,8- und einem Baader-ND0,6-Graufilter sowie dem Baader 2" Solar Continuum Filter ausgerüstet.

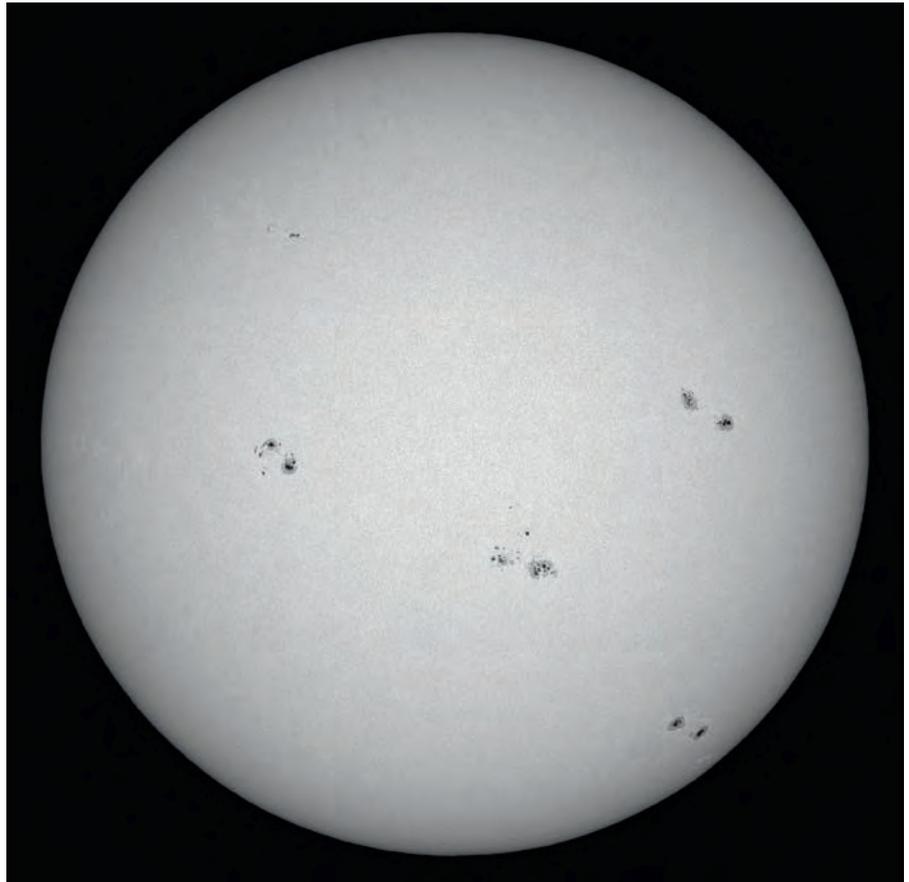
Über diverse Verlängerungshülsen und Adapter ist eine Canon EOS 550D DSLR-Kamera mit 5184×3456 Pixeln montiert. Das Sonnenbild weist einen Durchmesser von rund 3100 Pixeln auf, woraus ein Abbildungsmaßstab von $0,62''$ pro Pixel resultiert (Abb. 4). Die Kamera wird mithilfe eines Canon-ACK-E8-Kits mit Strom versorgt und ist über ein USB-2.0-Kabel mit dem Kontrollrechner im Beobachtungsraum verbunden. Die Steuerung der Kamera sowie die Bildakquisition erfolgen über MaxIm DL.

Für die ferngesteuerte Fokussierung wurde der originale Okularauszug mit einem robotischen Motor von Starlight Instruments nachgerüstet, welcher in MaxIm DL bedient werden kann. Damit kein Fremdlicht in die Kamera gelangen kann, muss der Sucher mit der mitgelieferten Gummikappe abgedeckt werden. Die Fokussierung erfolgt »von Hand«, indem in MaxIm DL direkt die vergrößerte Liveansicht des Sonnenbildes betrachtet und der Fokusmotor bedient wird. Die eigentliche Bildakquisition erfolgt über eine automatische Aufnahmesequenz, welche in rascher Folge rund 20 Einzelbilder aufnimmt. Von diesen wird das schärfste Einzelbild weiterverarbeitet.

Filter

Der Baader Solar Continuum Filter schneidet im grünen Bereich bei 540nm Wellenlänge einen rund 10nm breiten Spektralbereich aus. Da dort die Strukturen der Sonnenflecken und der Granulation

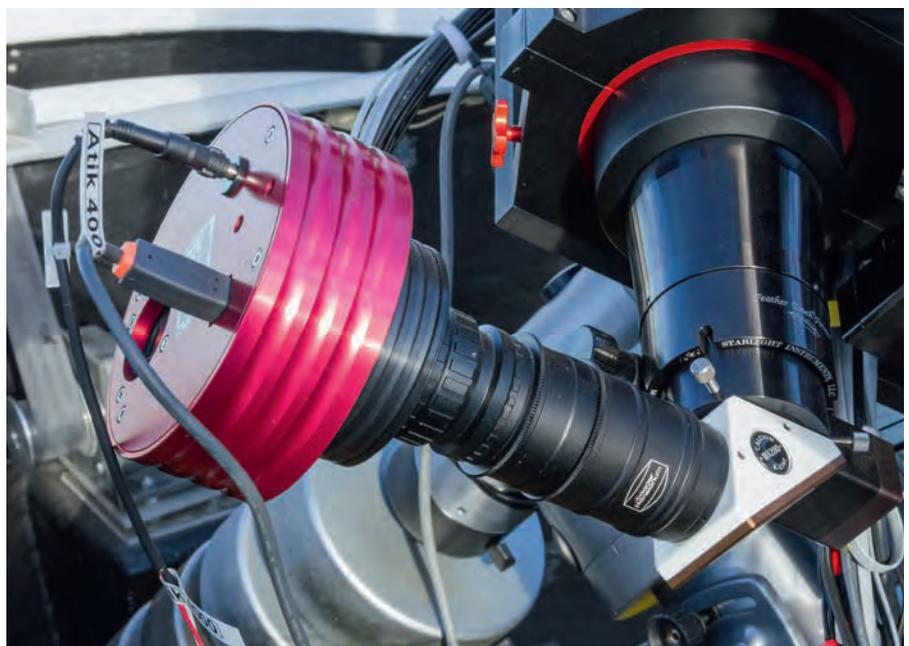
► Abb. 6: Das untere Ende des Tele Vue NP101-Refraktors mit dem nachgerüsteten motorisierten Feather-Touch-Auszug von Starlight Instruments sowie dem Lunt Call-K-Diagonalmodule mit dem BF1200-Blockfilter. Daran anschließend der Fluorite Flatfield-Converter von Baader sowie die Atik 4000 LE CCD-Kamera mit dem KAI 04022 Interlinechip von Kodak.

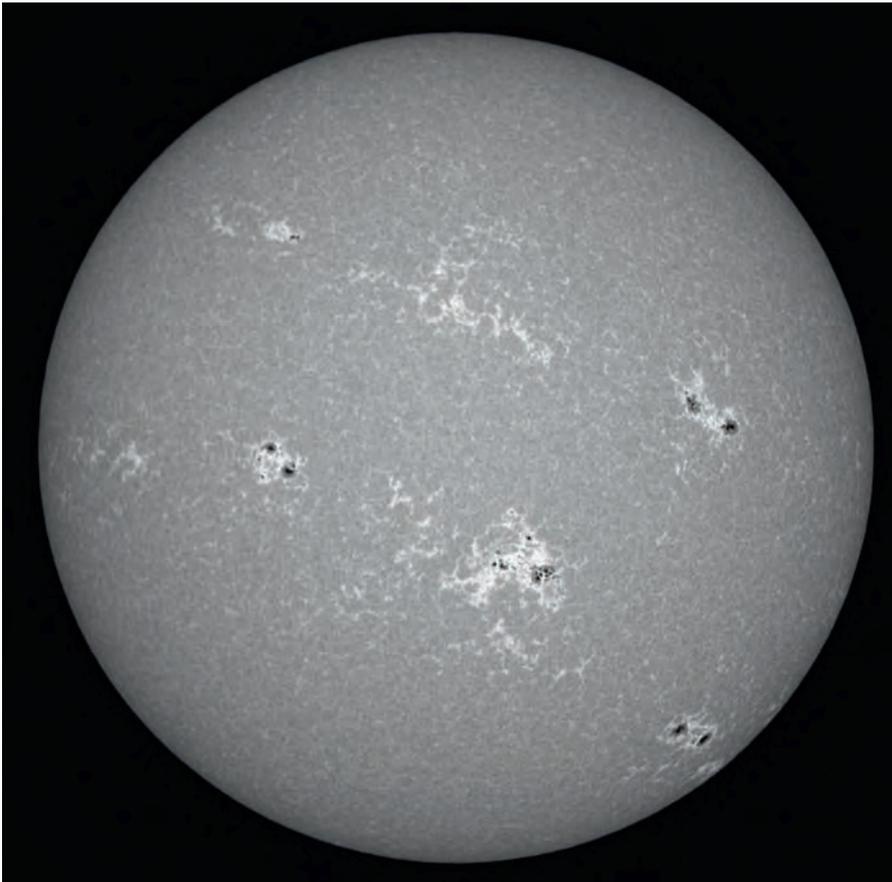


anerkanntermaßen ihren größten Kontrast haben und Refraktoren dort auch am schärfsten und kontrastreichsten zeichnen, erhofft man sich durch Anwendung dieses Filters eine merkliche Steigerung der Bildqualität. Zudem ist die Luftunruhe bei kurzen Wellenlängen merklich größer, so dass mit dem relativ langwelligen grünen Solar Continuum Filter eine weitere Steigerung der Bildqualität erwartet werden darf.

Bei den farbcodierten DSLR-Kameras sollte dies allerdings nicht funktionieren, da

theoretisch nur die grünen Pixel Licht erhalten und das resultierende Farbbild somit stark verwaschen sein sollte. In praxi überlappen sich jedoch die Spektralbereiche der roten und der blauen Pixelfilter mit demjenigen der grünen Pixelfilter, so dass in Wirklichkeit alle Pixel Licht erhalten. Zwar ist das resultierende Farbbild tatsächlich leicht verwaschen, doch wenn man nach der Farbinterpolation die drei Grundfarben wieder voneinander trennt, so erweist sich der Grünkanal als qualitativ hervorragend (Abb. 5)!





◀ Abb. 7: Die untere Chromosphäre der Sonne im Licht von CaII-K bei 393,4nm Wellenlänge am 22. April 2012 um 10:55 MESZ. Aufnahme am Tele Vue NP101 Refraktor des Sonnenturms Uecht mit der im Text beschriebenen Ausstattung. Zu sehen sind in den Aktivitätsgebieten neben den dunklen Sonnenflecken vor allem die hellen chromosphärischen Fackelgebiete (Plages). Auf der Sonnenscheibe zeigt sich zudem das helle chromosphärische Netzwerk der Supergranulation.

einem Baader Fluorit Flatfield Converter auf 1510mm. Als Kamera benutzen wir eine Atik 4000 LE. Diese enthält einen monochromatischen KAI 04022 Interline-Chip mit 2048 × 2048 Pixeln zu 7,4µm Seitenlänge. Das Sonnenbild weist einen Durchmesser von rund 1900 Pixeln auf, woraus ein Abbildungsmaßstab von 1" pro Pixel resultiert.

Die Steuerung der Kamera sowie die Bildakquisition erfolgt über MaxIm DL. Für die ferngesteuerte Fokussierung wurde der originale Okularauszug durch einen robotischen Feather-Touch-Auszug von Starlight Instruments ersetzt, welcher in MaxIm DL bedient werden kann. Die Fokussierung erfolgt »von Hand«, indem in MaxIm DL direkt eine gebinnete Sequenzialansicht des Sonnenbildes betrachtet und der Fokusbildmotor bedient wird. Die Bildakquisition erfolgt wie im Weißlicht über eine automatische Aufnahmesequenz, welche in rascher Folge mehrere Einzelbilder aufnimmt. Von diesen wird das schärfste Einzelbild weiterverarbeitet.

Die Kalziumfotografie der Sonne weist eine fast ähnlich lange Geschichte auf wie diejenige der Weißlichtfotografie. Seit der Erfindung des Spektroheliographen durch G. E. Hale und H. Deslandres um 1892 wurde die Chromosphäre der Sonne im Licht des einfach ionisierten Kalziums bei 393,37nm von mehreren Observatorien permanent überwacht. In den 1990er-Jahren wurde am Nationalen Sonnenobservatorium (NSO) in Sacramento Peak, New Mexico ein Precision Solar Photometric Telescope (PSPT) entworfen, bestehend aus einem streulichtarmen Refraktor mit 150mm Öffnung, einem

◀ Abb. 8: Das untere Ende des LS80THaD-SPT-Refraktors von Lunt Solar Systems mit den beiden Doublestack-Filter-Etalons und dem Luftdruck-System, dem motorisierten Feather-Touch-Okularauszug von Starlight Instruments, dem BF1200-Blockfilter und der monochromatischen Atik 450 CCD-Kamera mit 2448 × 2050 Pixeln.

Kalziumbeobachtungen

Engbandige CaII-K-Interferenzfilter sind schon längere Zeit auf dem Markt: Günter Appelt begeisterte bereits in den frühen 1980er-Jahren mit seinen »blauen Sonnen«, welche er mit einem Daystar-Kalziumfilter aufnahm. [1] Wir setzen seit September 2008 ein Lunt CaII-K-Diagonalmodul mit einem BF1200-Blockfilter und einer Halbwertsbreite von rund 24nm ein. Das Filtermodul ist rund 460g schwer und wird wie

ein Zenitspiegel in den Okularstutzen eines kleineren Refraktors eingeführt. Es benötigt keine zusätzlichen Vorfilter und ist wartungsfrei. Die Brennweite des Instruments und die Blockfiltergröße müssen allerdings sorgfältig auf die Chipgröße und die gewünschte Bildauflösung abgestimmt werden.

Wir setzen das Lunt CaII-K-Diagonalmodul an einem NP101-Refraktor von Tele Vue ein (Abb. 6), welcher eine Öffnung von 101mm und eine Brennweite von 540mm besitzt. Letztere verlängern wir mit



► Abb. 9: Die obere Chromosphäre der Sonne im Licht von H α bei 656,3nm Wellenlänge am 22. April 2012 um 10:56 MESZ. Aufnahme am Lunt LS80THaDSPT-Refraktor des Sonnenturms Uecht mit der im Text beschriebenen Ausstattung. Auf der Scheibe erscheinen Protuberanzen als dunkle Filamente, Spikulen als dunkle Begrenzungen des chromosphärischen Netzwerks. In den Aktivitätsgebieten sind neben den dunklen Sonnenflecken auch die hellen chromosphärischen Fackelgebiete (Plages) zu sehen, begleitet von einzelnen kleinen Flares. In den großen Sonnenfleckengruppen sind zudem einige der großen Penumbrae von ausgedehnten strudelartigen Superpenumbrae umgeben.

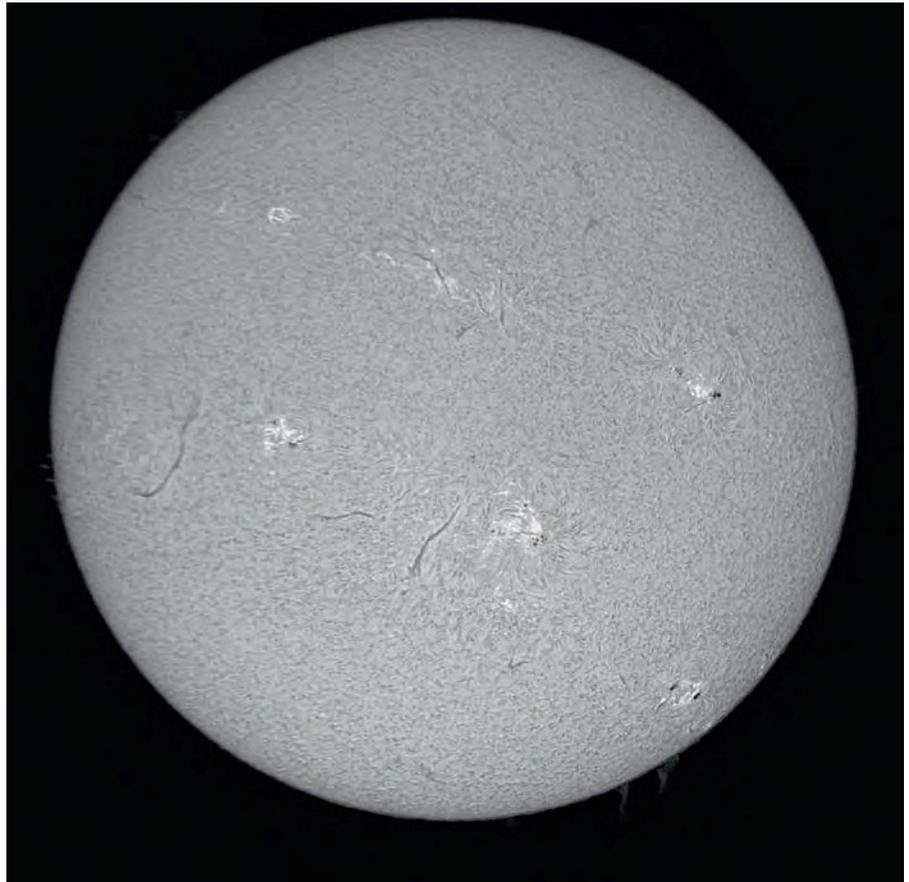
CaII-K-Interferenzfilter mit Halbwertsbreite 25nm sowie einer großformatigen CCD-Kamera mit einer Auflösung von 1" pro Pixel. Seit 1998 steht ein derartiges Instrument auf dem Mauna Loa in Hawaii im täglichen Einsatz. Auf dem Observatorium Kanzelhöhe ist zudem seit mehreren Jahren ein 110mm-Refraktor mit einem Daystar-Kalziumfilter mit 0,3nm Halbwertsbreite und einer großformatigen 2048 \times 2048 Pixel umfassenden CCD-Kamera in Betrieb.

Damit wird klar, dass unsere »Amateur-ausrüstung« die Anforderungen für ein konkurrenzfähiges Monitoring der Chromosphärenaktivität in CaII-K erfüllt. In der Tat sind die erhaltenen Kalziumheliogramme von hervorragender Qualität und können sich mit den besten erdgebundenen Monitoringaufnahmen messen (Abb. 7).

H α -Beobachtungen

H α -Beobachtungen von Protuberanzen am Sonnenrand sowie von Filamenten und Eruptionen auf der Sonnenscheibe erfreuen sich unter Amateurastronomen seit vielen Jahren einer großen Beliebtheit. Die tägliche Durchführung eines mit professionellen Überwachungsstationen konkurrenzfähigen fotografischen Monitoringprogramms lag bisher aber außerhalb der Möglichkeiten – jedenfalls der werktätigen Amateurastronomen.

Wir setzen seit dem Frühjahr 2012 einen LS80THaDSPT-Refraktor von Lunt Solar Systems ein. Der zweilinsige ED-Refraktor hat eine freie Öffnung von 80mm und eine Brennweite von 560mm. Zwei hintereinander geschaltete, über ein Druckluft-System individuell justierbare Etalon-Filter mit nachgeschaltetem BF1200-Blockfilter garantieren eine gleichmäßig ausgeleuchtete obstruktionsfreie Sicht auf die obere Chromosphäre



Dr. T. K. Friedli

der Sonne bei 656,3nm Wellenlänge und einer Halbwertsbreite von weniger als 5nm. Mittels einer 2"-Apo-Barlowlinse verlängern wir die Brennweite des Refraktors auf rund 690mm.

Zur Bildgewinnung setzen wir eine monochromatische Atik 450 CCD-Kamera mit 2448 \times 2050 Pixeln ein (Abb. 8). Das Sonnenbild weist einen Durchmesser von rund 1900 Pixeln auf, woraus ein Abbildungsmaßstab von 1" pro Pixel resultiert. Die Steuerung der Kamera sowie die Bildakquisition erfolgen über MaxIm DL. Für die ferngesteuerte Fokussierung ist der Lunt-Refraktor bereits werkseitig mit einem robotischen Feather-Touch-Auszug von Starlight Instruments ausgerüstet, welcher in MaxIm DL bedient werden kann.

Erfreulicherweise sind die derart gewonnenen Überwachungsaufnahmen mit denjenigen professioneller Monitoringstationen, beispielsweise denjenigen in Uccle oder auf der Kanzelhöhe vergleichbar (Abb. 9).

Ausblick

Durch sorgfältiges Abstimmen von Instrumenten, Zusatzoptiken, Kameras und Bildverarbeitungstechniken ist es uns gelungen, qualitativ hochwertige und professionellen Anforderungen genügende mosaikfreie, kalibrierte und orientierte Heliogramme im

Weißlicht, in CaII-K und in H α vorzulegen, welche als Messplattformen für die Bestimmung abgeleiteter Indizes der Sonnenaktivität dienen können.

Am 1. Januar 2011 starteten wir den täglichen Routinebetrieb. In den Jahren 2011 und 2012 konnten durch vor Ort anwesende Operateure rund ein Viertel der Beobachtungstage abgedeckt werden (vgl. Surftipps). Auf die Dauer ist dies jedoch nicht durchzuhalten: Die Bildakquisition muss zwingend stärker automatisiert werden, damit ein robotischer Betrieb des Instrumentariums mit ACP via Internet möglich wird. Das größte Hemmnis ist hierbei die fehlende automatische Fokussierung der Sonnenbilder. Diese muss nun entwickelt und implementiert werden.

[1] Appelt, G.: Sonnenbeobachtung im Kalzium-Bereich, Sonne 5, 142 (1981)

SURFTIPPS

Robotic Solar Observation Telescope:

🌐 www.solarpatrol.ch

Observatorium Kanzelhöhe:

🌐 www.kso.ac.at

Precision Solar Photometric Telescope:

🌐 lasp.colorado.edu/pspt_access/

Protuberanzen im Fokus

Tipps und Tricks für Sonnenfotografen

von Michael Hunnekuhl



M. Hunnekuhl

▲ Abb. 1: Die Überlagerung verschieden lang belichteter Bildserien ermöglicht die simultane Darstellung von Protuberanzen und der Sonnenoberfläche im H α -Licht. Mit nur zwei bis vier Belichtungsserien lassen sich selbst schwache Protuberanzen neben der gut ausbelichteten Sonnenoberfläche darstellen.

Sonnenbeobachtungen im Licht der H α -Spektrallinie offenbaren einen faszinierenden und detailreichen Einblick in die Chromosphäre unseres Zentralgestirns. Zur Fotografie werden überwiegend Videokameras mit einer Datentiefe von 8 Bit eingesetzt. Aufgrund ihres begrenzten Dynamikumfangs mit nur 256 abgespeicherten Helligkeitsstufen ist häufig entweder die Sonnenscheibe überbelichtet oder die Randprotuberanzen sind unterbelichtet. Wie können mehrere Belichtungsserien mit frei verfügbaren Bildbearbeitungsprogrammen so kombiniert werden, dass sowohl die

Strukturen innerhalb der Chromosphäre vor der Sonnenoberfläche als auch schwache Protuberanzen am Sonnenrand auf einem Foto gleichzeitig sichtbar werden?

Das Problem

Zur Aufnahme der Sonnenchromosphäre im H α -Licht wird die Belichtungszeit i.d.R. so gewählt, dass lokale Überbelichtungen im Bildfeld gerade ausgeschlossen werden. Dabei werden der Tonwertumfang im Bild und damit auch die Möglichkeiten bei der anschließenden Bildbearbeitung maximiert.

Protuberanzen und Sonnenoberfläche zeigen mit Ausnahme starker Eruptionen am Rand jedoch einen starken Gradienten in der Flächenhelligkeit. Ist die Belichtungszeit optimal an die Leuchtstärke der Sonnenoberfläche angepasst, so gehen oftmals viele Details am Rand verloren. Ist die Belichtungszeit hingegen auf den Sonnenrand optimiert, ist oftmals eine Überbelichtung der Oberfläche die Folge.

In einem ersten Ansatz können die schwach belichteten Randgebiete der Sonne zwar durch eine selektive Verstärkung niedriger Tonwerte aufgehellt werden. Da hierdurch aber auch

das Bildrauschen des Hintergrundes aufgehellt wird, sind diesem Ansatz enge Grenzen gesetzt. Viele Sonnenfotoserien beschränken sich bei der Fotografie von Randprotuberanzen auf nur eine Belichtungsreihe mit konstanter Belichtungszeit – optimiert für die Randzone der Sonne – und kombinieren die Einzelbilder der Serie zu einem Summenbild. Die überbelichtete Sonnenoberfläche wird mit einer schwarzen Maske überblendet oder einfach geschwärzt. Dabei entsteht ein Bild, das klassischen Aufnahmen mit einem Protuberanzenansatz oder dem Anblick während einer totalen Sonnenfinsternis ähnelt.

Die Lösung

Eine sehr einfache Möglichkeit zur simultanen Darstellung von Sonnenrand und -oberfläche besteht darin, die Summenbilder zweier Aufnahmeserien zu überblenden (Abb. 1). Dabei bildet eine Aufnahme den Rand und die andere die Sonnenscheibe optimal ab. Die Kombination von Summenbildern aus mehr als nur zwei Belichtungsreihen erlaubt einen weniger harten Übergang der Tonwerte zwischen Rand und Scheibe. Jedoch sind der Überlagerung beliebig vieler Aufnahmeserien physikalische Grenzen gesetzt. Limitierende Faktoren sind die dynamischen Prozesse auf der Sonne selbst, die Gesamtaufnahmedauer und die Seeingbedingungen während der Aufnahme.

Sonnenprotuberanzen können innerhalb weniger Minuten deutliche Formänderungen zeigen. Daher müssen alle Aufnahmeserien abgeschlossen sein, bevor diese Prozesse zu einer sichtbaren Bildunschärfe bei der Überlagerung nacheinander aufgenommener Bildserien führen. Zur Reduktion des Bildrauschens und zur Steigerung der Detailschärfe verarbeitet der Autor mindestens 250 Bilder einer Aufnahmeserie zu einem Summenbild. Je schlechter die Seeingbedingungen, desto mehr Einzelaufnahmen müssen je Serie aufgenommen werden. Bei guten Bedingungen ist die Anzahl von Belichtungsreihen erfahrungsgemäß auf maximal 3 bis 5 Serien begrenzt, bevor signifikante Änderungen in den Protuberanzen sichtbar werden. Bei richtig gewählten Belichtungszeiten sind 3 bis 4 Serien jedoch auch ausreichend, um sowohl Randprotuberanzen als auch Sonnenoberfläche ohne harten Übergang zu überlagern.

Die Aufnahme

Die Belichtungszeit der ersten Serie wird so gewählt, dass auf der Sonnenoberfläche

gerade keine Überbelichtung auftritt. Sehr wichtig ist die richtige Wahl der Belichtungszeit der zweiten Serie. Diese muss so gewählt werden, dass am Übergang von Sonnenoberfläche und Protuberanzen sowohl die Protuberanzen als auch der äußerste Rand der Sonnenoberfläche gerade nicht überbelichtet sind. Bei einer Überbelichtung des nur wenige Pixel schmalen Übergangsbereiches treten ansonsten unschöne – je nach Bildüberlagerung und Bildschärfung – scharfe Ränder zwischen Randzone und Oberfläche auf. Die dritte und ggf. vierte Bildserie wird mit Belichtungszeiten zwischen denen der ersten und zweiten Serie aufgenommen. Die Reihenfolge der Aufnahmeserien ist beliebig.

Die Bildbearbeitung

Die Bildbearbeitung erfolgt in drei Schritten:

1. dem Stacken der Bildserien zu einem Summenbild
2. dem Schärfen der Summenbilder
3. der Überlagerung der Summenbilder

Zum Stacken eignen sich die frei verfügbaren Programme AviStack2 oder auch Registax (vgl. ausführlichen Beitrag S. 64). Mit beiden Programmen können die atmosphärisch bedingten Bildfeldverzerrungen in den Einzelbildern reduziert und zu einem entzerrten Summenbild kombiniert werden. Zur Schärfung der Summenbilder werden Wavelet-Filter verwendet, die in diesen Programmen implementiert sind. Das frei verfügbare Programm Fitswork bietet ähnliche Filterfunktionen und darüber hinaus die Möglichkeit ein Summenbild vor dem Schärfen zu entfalten.

Mit Bildbearbeitungsprogrammen wie etwa GIMP oder Photoshop werden die geschärften Summenbilder abschließend überlagert. GIMP ist eine Open-Source Software und kann kostenfrei verwendet werden (vgl. Kasten).

[1] Wolf, J.: GIMP 2.6, Galileo Press, Bonn (2010)

SURFTIPPS

Fitswork:

www.fitswork.de

GIMP:

www.gimp.org

IM DETAIL

Workflow mit GIMP

Bilder laden:

Mit der Funktion »Als Ebenen öffnen« im Menü »Datei« werden die gewünschten Einzelbilder als getrennte Ebenen geladen. Diese werden im Ebenendialogfenster so verschoben, dass die Einzelbilder anschließend mit steigender Belichtungszeit abgelegt sind. Die unterste Ebene ist das Bild mit der kürzesten Belichtungszeit.

Ebenen ausrichten:

Im Werkzeugkasten das Verschieben-Symbol (gekreuzte Pfeile) aktivieren und dann alle Ebenen, bis auf die untersten beiden, durch linken Mausklick auf das Augensymbol vor der jeweiligen Ebene im Ebenendialogfenster ausblenden. Zur Bearbeitung wird mit der linken Maustaste auf die zweite Ebene im Dialogfenster geklickt, gefolgt von linkem Mausklick über dem Bild. Die Ebene wird solange mit den Pfeiltasten verschoben, bis die beiden untersten Ebenen deckungsgleich sind. Die Deckungsgleichheit wird durch wiederholtes Ein- und Ausblenden der verschobenen Ebene überprüft. Anschließend wird die darüberliegende Ebene sichtbar und die soeben verschobene Ebene unsichtbar geschaltet. Im Folgeschritt wird die dritte Ebene zur untersten ausgerichtet. Alle Schritte werden dann bis zur Ausrichtung der obersten Ebene wiederholt.

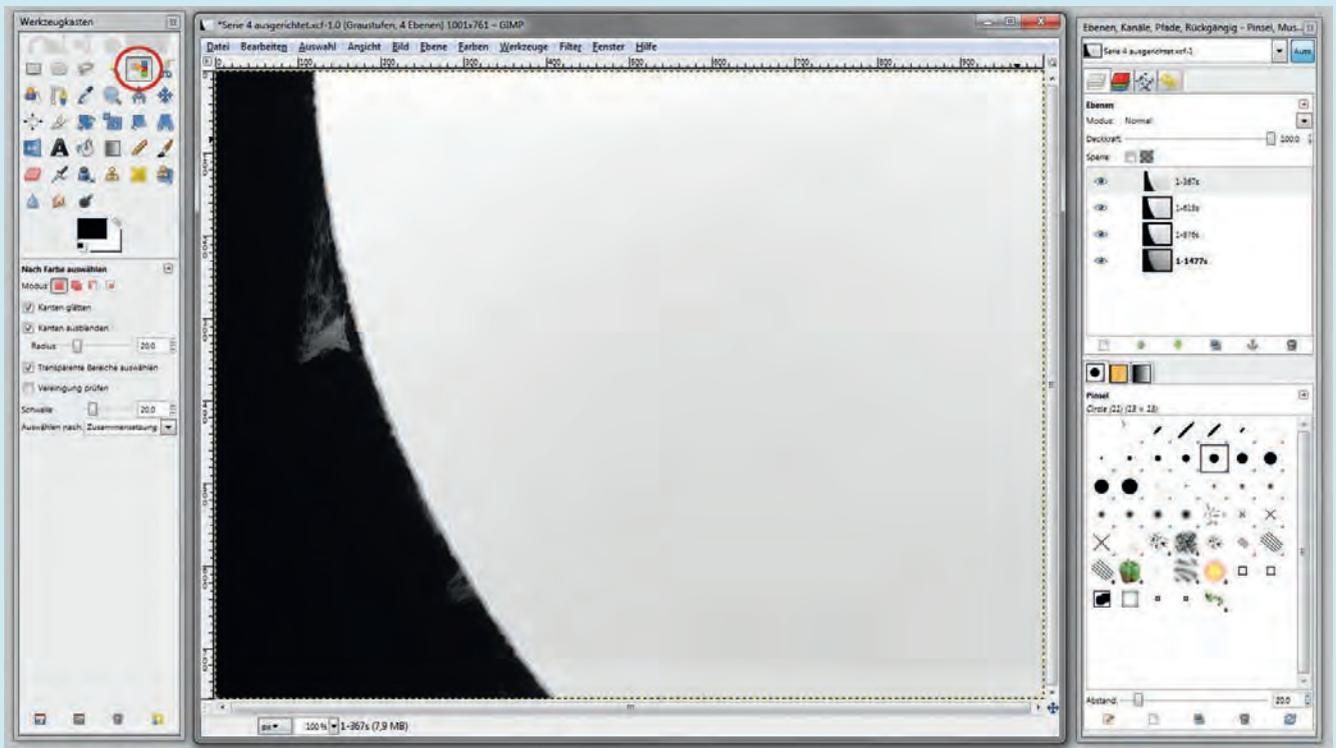
Zuschneiden:

Mit dem Werkzeug »Rechteckige Auswahl« wird zunächst der gemeinsame Bereich aller Ebenen markiert. Dann wird über die Funktion »Auf Auswahl zuschneiden« im Menü »Bild« der Arbeitsbereich zugeschnitten.

Überlagerung - Schritt 1:

Im Ebenendialogfenster wird die oberste Ebene zur Bearbeitung

IM DETAIL (FORTSETZUNG)



▲ Abb. 1: Überbelichtete Bildteile werden mithilfe einer Ebenenmaske ausgeblendet.

aktiviert und anschließend im Werkzeugkasten die Funktion »Nach Farbe auswählen« angeklickt (Abb. 1). In den Werkzeugeinstellungen (links) werden alle Häkchen bis auf das vor »Vereinigung prüfen« gesetzt. Über die Schieberegler »Radius« und »Schwelle« wird ein Schwellenwert für die Transparenz der Ebene und die Breite des Übergangsbereiches zwischen den sichtbaren und transparenten Teilen der Ebene festgelegt. Beide Werte hängen stark davon ab, welche Bereiche der Ebenen transparent geschaltet werden sollen. Der Autor verwendet für die oberste Ebene i.d.R. Werte von grob 20 für beide Parameter. Für tiefer liegende Ebenen werden i.d.R. größere Werte verwendet. Es lohnt sich an dieser Stelle mit den Einstellungen beider Werte zu experimentieren. Anschließend wird die Maus über dem hellsten Bildteil positioniert und die linke Maustaste gedrückt, wodurch die Auswahl definiert und angezeigt wird.

Überlagerung - Schritt 2:

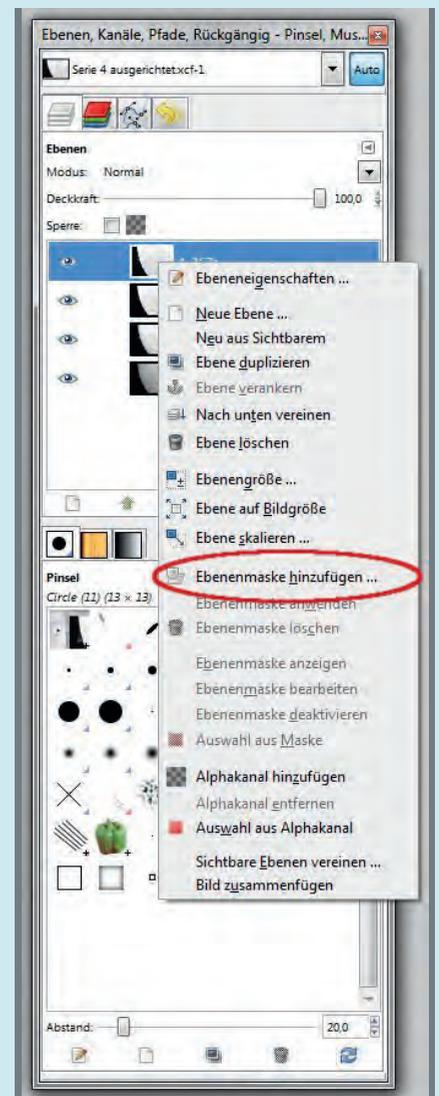
Mit der rechten Maustaste wird nun im Ebenendialogfenster auf die bearbeitete Ebene geklickt und im Dialogfenster »Ebenenmaske hinzufügen« gewählt (Abb. 2).

Daraufhin wird automatisch ein neues Dialogfenster geöffnet. Zur Initialisierung der Ebenenmaske wird hier »Auswahl« angeklickt und das Häkchen vor »Maske invertieren« gesetzt und mit einem Klick der linken Maustaste auf »Hinzufügen« bestätigt.

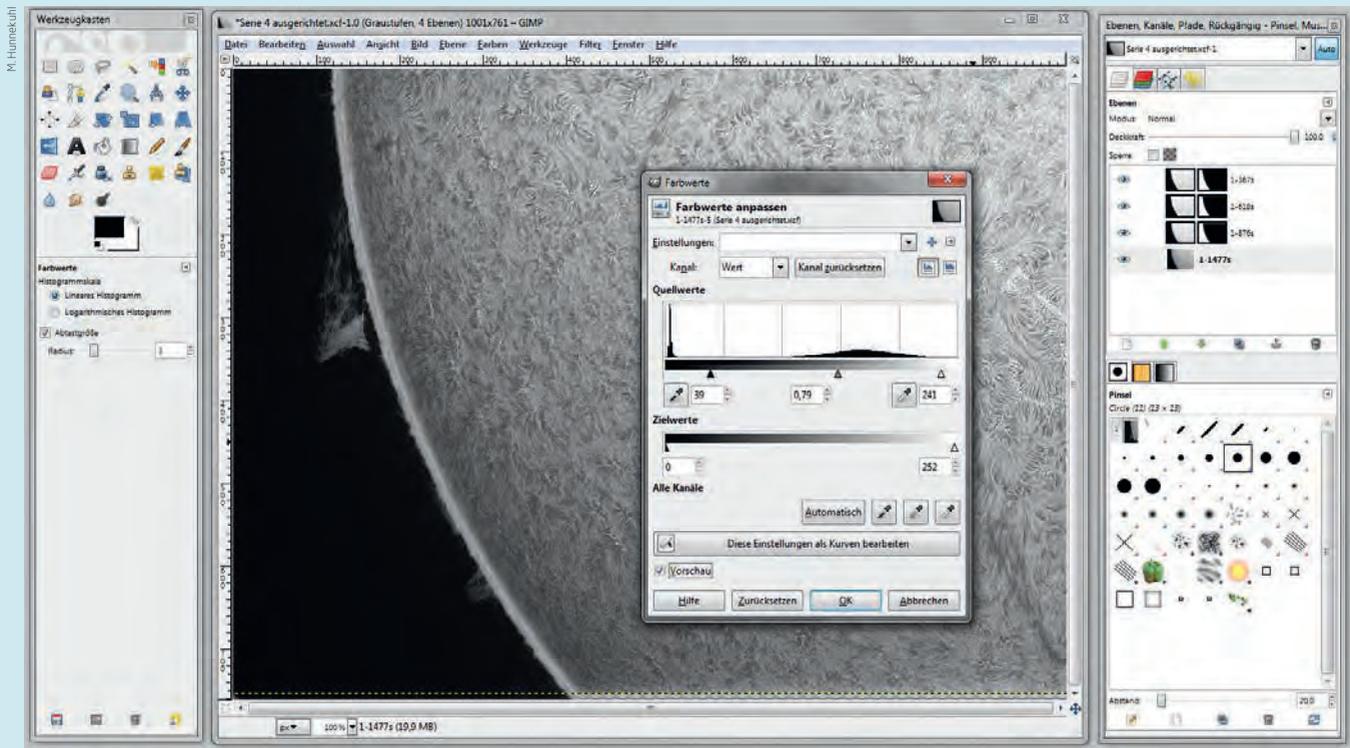
Überlagerung - Schritt 3:

Über die Funktion »Werte« im Menü »Farben« wird ein Dialogfenster geöffnet, über das die Tonwerte der aktivierten Ebene bearbeitet werden können. Zuvor wird mit der linken Maustaste auf das Ebenensymbol der aktivierten Ebene im Ebenendialog geklickt. Dies ist das linke der beiden abgebildeten Symbole. Das rechte symbolisiert die Ebenenmaske. Durch einen entsprechenden Klick auf das rechte Symbol kann die Ebenenmaske bearbeitet werden. Über das Dialogfenster werden, soweit nötig, die Tonwerte modifiziert, um starke Helligkeitssprünge zwischen den Ebenen zu unterdrücken oder zu reduzieren (Abb. 3).

► Abb. 2: Ebenenmasken werden über das Ebenendialogfenster hinzugefügt.



Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



▲ Abb. 3: Korrekturen am Histogramm werden zur Reduktion von Tonwertsprüngen zwischen den überlagerten Ebenen und zur Kontraststeigerung angewendet.

Überlagerung - Schritt 4:

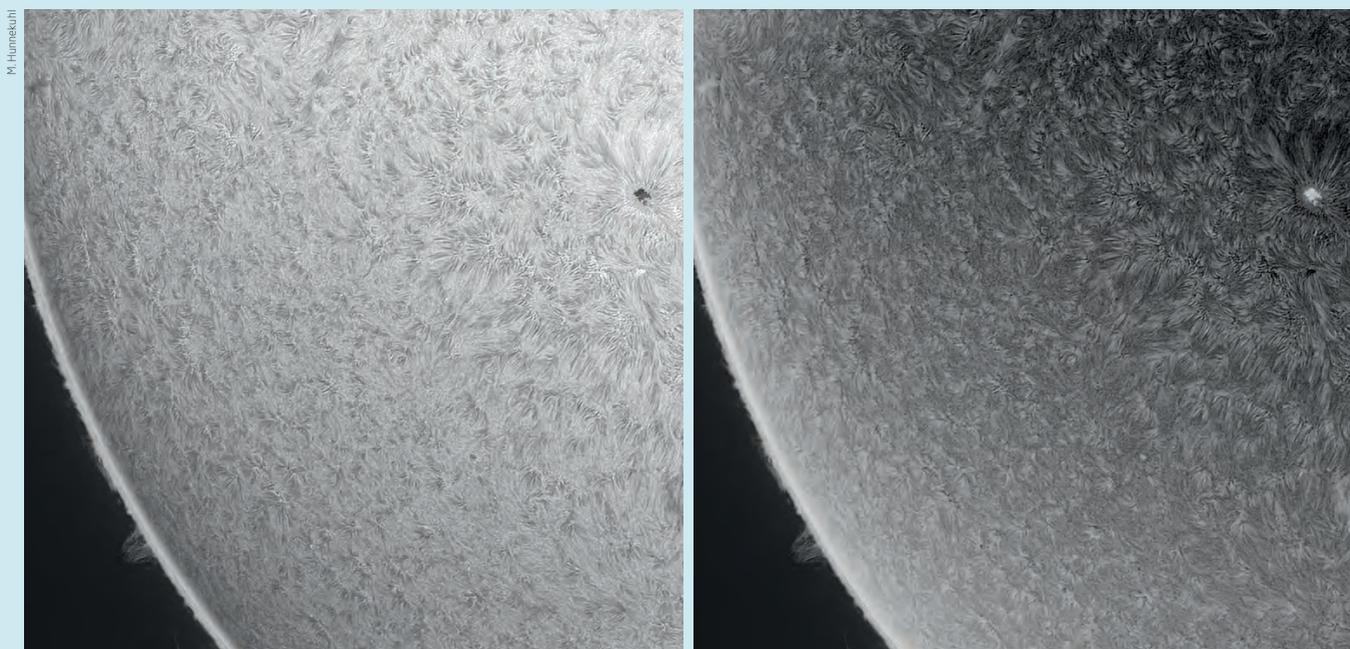
Die folgenden Ebenen werden, bis auf die unterste, in absteigender Reihenfolge wie unter Schritt 1 bis 3 beschrieben bearbeitet.

Überlagerung - Schritt 5:

Die unterste Ebene wird wie unter Schritt 3 beschrieben bearbeitet. Soll die Sonnenoberfläche mit invertierten Helligkeitswerten dargestellt werden, so muss

diese Ebene zuvor mit der Funktion »Invertieren« im Menü »Farben« invertiert werden (Abb. 4).

▼ Abb. 4: Der linke Bildteil zeigt das aus vier Bildserien kombinierte Ha-Sonnenfoto mit nicht-invertierter Sonnenoberfläche, der rechte Teil mit invertierter Oberfläche.



Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

Mehr als nur rote Sonne

Aufnahme und Bildbearbeitung von H α -Sonnenaufnahmen

von Cai-Usó Wohler

C.-U. Wohler

▲ Abb. 1: Die aktive Sonne im H α -Licht ist ein beliebtes Ziel für Astrofotografen. Eigene Ergebnisse gelingen, wenn man einige grundlegende Bearbeitungsschritte beachtet. Das Bild zeigt ein großes Filament und eine Protuberanz im Nordwesten am 20.11.2011 gegen 12:00 MEZ, aufgenommen mit einem 120mm-Refraktor bei 1800mm, DMK 31AF03, C-ERF 135mm, PST-Etalon, Coronado BF10, 1,8x-Barlowlinse.

Die Sonne bietet Licht im Überfluss und seit dem Einzug der H α -Technologie auch in die Amateurastronomie ist es bei überschaubarem Aufwand einfach geworden, Protuberanzen, Filamente und Flares fotografisch zu dokumentieren. Die Bearbeitung von an einem H α -Teleskop gewonnenen Bildern muss auf die speziellen Probleme eingehen, die gerade der große Intensitätsunterschied von Protuberanzen und Sonnenoberfläche erzeugt (vgl. auch Beitrag S. 60).

Für Aufnahmen der Sonne dienen als Aufnahmegesamt komplette H α -Sonnenteleskope oder aufsteckbare Filtersysteme. Der Autor verwendet einen ERF Energieschutz-Filter mit einer Öffnung von 135mm, der auf einem FH-Refraktor 120mm/1000mm angebracht ist. Die Feinfilterung besorgt ein Etalon-Element, das aus dem beliebten PST von Coronado ausgebaut wurde.

Wichtig ist ein auf die Aufnahmebrennweite abgestimmter Blockfilter. Der Autor verwendet bei 1800mm effektiver Brennweite, erreicht durch den Einsatz einer Barlowlinse, einen Blockfilter mit 10mm freiem Durchmesser. Mit dieser Brennweite kann die Sonne nicht mehr insgesamt aufgenommen werden, da das Sonnenbild im Brennpunkt bereits ca. 18mm Durchmesser hat, der Blockfilter aber

nur 10mm Durchlass hat. Stattdessen konzentriert man sich auf einzelne Aktivitätsgebiete, die aufgrund der Brennweite mit mehr Details dokumentiert werden können.

Aufnahmetechnik

Digitale Spiegelreflex- und herkömmliche CCD-Kameras sind auf die Aufnahme von Einzelbildern ausgelegt. Um das tagsüber meist sehr störende Seeing einzufrieren, werden deshalb Kameras verwendet, die innerhalb weniger Sekunden viele hundert Einzelbilder schießen – die Sonne wird gefilmt. Neben preiswerten Webcams haben sich in den letzten Jahren spezielle CCD-Kameras mit USB- oder anderen schnellen Anschlüssen bewährt, die ohne eigenen Bildschirm Filme direkt an einen PC oder Laptop senden.

Empfohlen werden Kameras, die die Sonne monochrom (schwarz-weiß) abbilden. Das ist bei der H α -Sonnenfotografie kein Nachteil, da ohnehin nur in dem engen Spektralbereich der H α -Linie bei einer Wellenlänge von 656nm aufgenommen wird und Farbnuancen somit nicht erfasst werden können.

Um die von der Kamera gesendeten Filme bearbeiten zu können, sind neben der Aufnahmesoftware spezielle Programme auf dem eigenen PC nötig. Diese Werkzeuge müssen große Bildmengen bearbeiten können – 1000 Einzelbilder auf nur 45s Filmlänge sind die Standardeinstellung des Autors, bei eruptiven Protuberanzen mit schneller Bewegung auch nur 30s. Die Belichtungszeit der Einzelbilder liegt bei 1/30s – das Seeing wird effektiv »eingefroren«.

► **Abb. 2: Die Schärfung einer Sonnenaufnahme.** Unter Filter → Scharfzeichnungsfilter wird die unscharfe Maske angewendet. Der oberste Regler wird auf 500% gestellt. Die Stärke des zweiten Reglers hängt direkt vom Seeing während der Aufnahme ab. Je besser das Seeing war, desto kleiner sollte der Wert gewählt werden. Meist liegt der Wert im Bereich von 0,5–1,2 Pixel. Der dritte Regler Schwellenwert steht auf 0.

Stacken

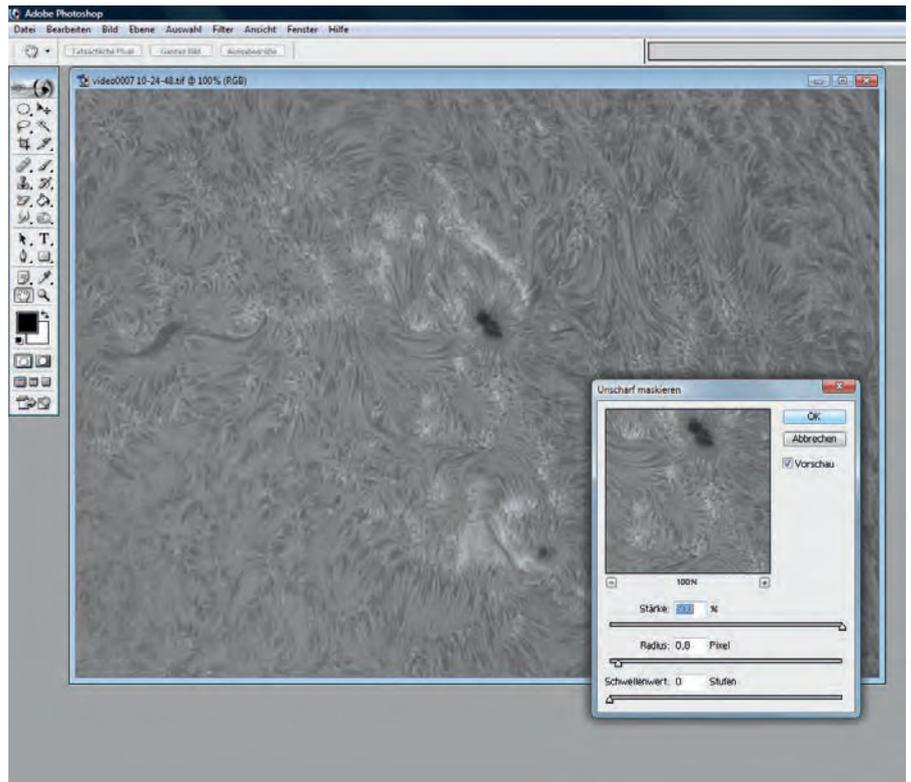
Bewährt haben sich die frei im Internet erhältlichen Werkzeuge AviStack 2 und Registax 6 (vgl. Surfipps). Sie können unkomprimierte avi-Dateien verarbeiten. Der Film wird beim Stacken zunächst in seine Einzelbilder zerlegt. Die einzelnen Bilder werden dann nach möglichst scharfen Bereichen abgesucht. Diese werden schließlich zu einem Summenbild überlagert. Das passiert weitgehend automatisch.

Nach vielen Tests hat es sich als günstig erwiesen, die Anzahl der zu verwendenden schärfsten Bilder auf 200 bis 300 einzustellen, das entspricht bei 1000 Ausgangsbildern einer Verwendungsrate von 20% – 30%. Das wiederum hängt von der Luftunruhe während der Aufnahme ab: Bei gutem Seeing sind weniger Bilder zum Stacken notwendig als bei schlechtem Seeing. Nähme man bei schlechtem Seeing zu wenige Bilder, würde das geschärfte Ergebnis von starkem Rauschen beeinträchtigt. In diesem Fall sollte man mindestens ca. 300 Bilder verwenden.

Nachbearbeitung

Das so erhaltene Summenbild hat eine Bittiefe von 16 Bit. Die Nachbearbeitung erfolgt in Bildbearbeitungsprogrammen, die diese Tiefe von 16 Bit unterstützen, wie z.B. Photoshop (auch ältere Versionen hiervon). Ein Problem ist dabei, dass Sonnenrand und Oberfläche nicht gemeinsam aufgenommen werden können: Der Dynamikumfang zwischen den schwachen Protuberanzen und der hellen Oberfläche

► **Abb. 3: Die Einfärbung einer Sonnenaufnahme.** In der Tonwertkorrektur wird unter RGB die Farbe Rot eingestellt. Das Verschieben des rechten Reglers nach links lässt das Bild rot werden. Anschließend wechselt man in den grünen Kanal und schiebt den linken Regler nach rechts – das Bild wird violett. Zuletzt schiebt man im blauen Kanal den linken Regler ebenso nach rechts.

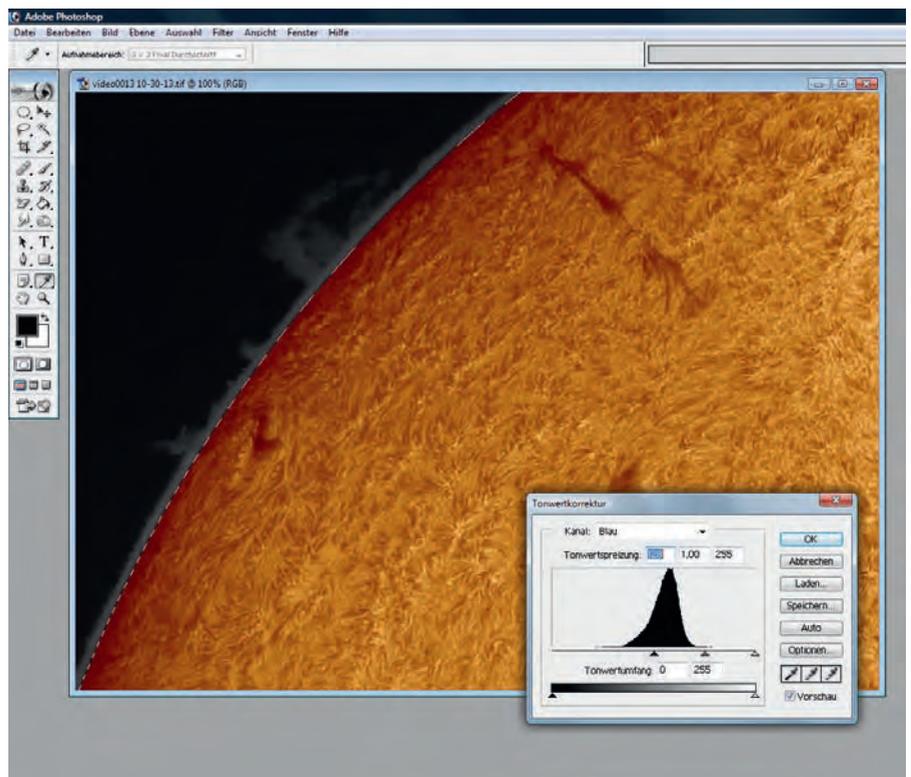


ist zu groß. Deshalb müssen beide getrennt voneinander aufgenommen und erst später wieder kombiniert werden. Die dazwischen ablaufenden Bearbeitungsschritte geschehen getrennt voneinander.

Schärfen

Zuerst folgt in einem Bildbearbeitungsprogramm das Schärfen des Summenbildes. Hierzu werden verschiedene Algorithmen

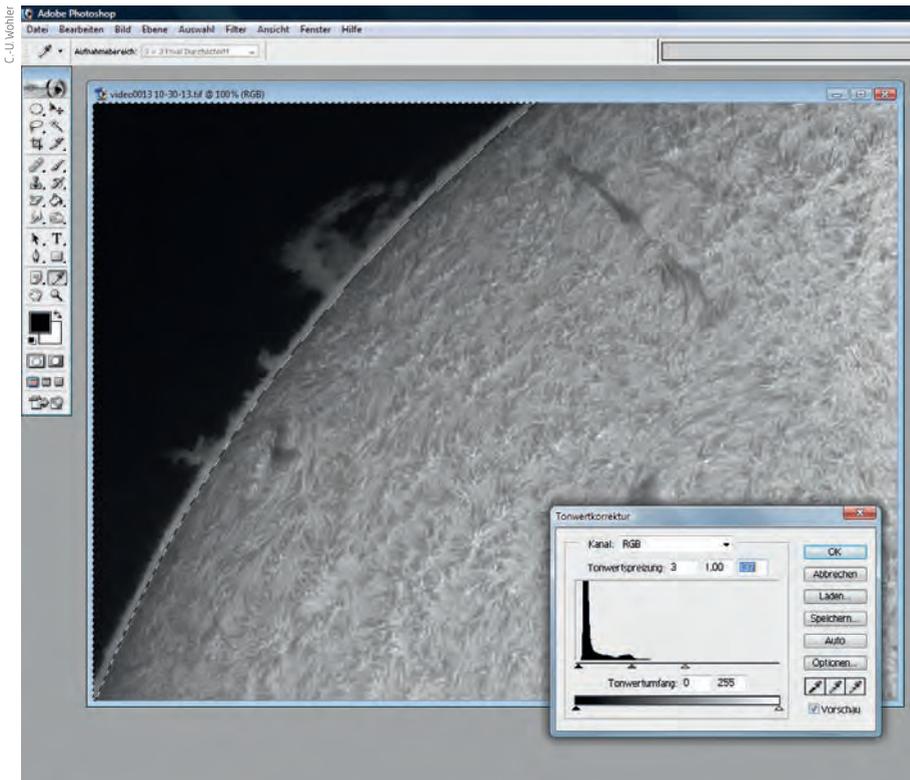
verwendet, vor allem die Funktion der unscharfen Maske. Die erste (vergleichsweise starke) Schärfung erfolgt wie in Abb. 2 dargestellt. Da eine zweite Schärfung aufgrund des 16 Bit tiefen Bildes möglich und oft auch notwendig ist, muss zuerst das Bild wieder ein wenig weichgezeichnet werden. Eine Funktion wie der Gaußsche Weichzeichner eignet sich hierfür gut. Dieses Verfahren (starke Schärfung – Weichzeichnung – erneute Schärfung) garantiert eine optimale



C-U-Webster

C-U-Webster

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



◀ Abb. 5: Die kreisrunde Maske wird so gelegt, dass die überbelichtete weiße Oberfläche von Chromosphäre und Protuberanzen getrennt wird. Dann kann zuerst die überstrahlte Oberfläche abgedunkelt werden. Danach können die Protuberanzen entsprechend mit der Tonwertkurve angepasst und hervorgehoben werden.

Schwärzung

Bei länger belichteten Randaufnahmen ist die Oberfläche überbelichtet. Da diese weiße überbelichtete Oberfläche von den oftmals filigranen Protuberanzen ablenkt, sollte sie geschwärzt werden, so dass nur ein schmales Band der Chromosphäre und die sich anschließende Protuberanz übrig bleiben. Hierzu muss eine Trennung zwischen Protuberanz und Oberfläche im Bereich der Chromosphäre erfolgen. Dieses wird durch eine kreisrunde Maske erreicht. Man beachte hier, dass die Einstellung »weiche Kante« den Wert 0 hat.

Die Größe der kreisrunden Maske kann experimentell ermittelt werden, sie hängt von der Brennweite des Aufnahmesystems ab. Ist einmal ein Maskendurchmesser gefunden, der über den ganzen Rand etwas Chromosphäre und die Protuberanz separiert, so positioniert man diese entsprechend und schwärzt die Oberfläche mit einem großen Pinsel und der Farbe Schwarz. Daraufhin kann man die kreisrunde Maske (Auswahl) mit dem Befehl »Auswahl umkehren« vertauschen, also die markierten und nicht markierten Gebiete vertauschen und die Protuberanz und den Himmelshintergrund mit der Tonwertkorrektur in der Helligkeit anpassen.

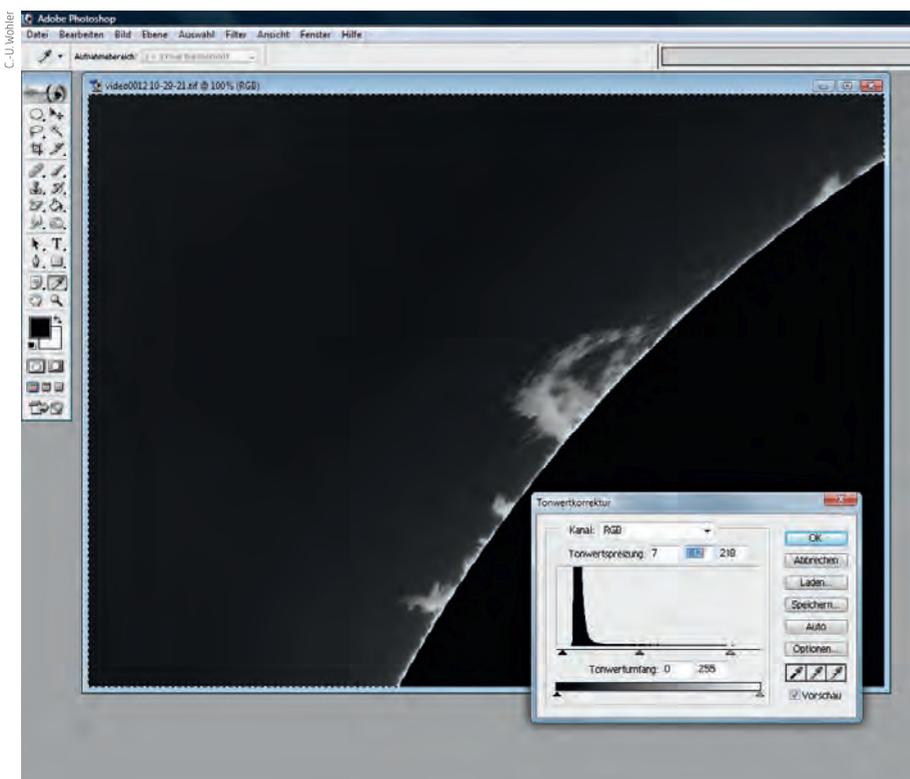
Zusammenfügen

Vor allem bei helleren Protuberanzen ist es reizvoll, diese mit der angrenzenden Oberfläche darzustellen. Um nach dem Schärfen Oberfläche und Protuberanzen getrennt mit der Tonwertkorrektur anzupassen, muss wieder die kreisrunde Maske mit dem Durchmesser der Sonne zwischen

◀ Abb. 4: Bei Schwarz-Weiß-Aufnahmen sollten sowohl die Oberfläche als auch die Protuberanzen in Helligkeit und Kontrast zueinander angepasst werden. Hierzu wählt man die kreisrunde Maske entsprechend dem Sonnendurchmesser und legt sie auf den Übergang von Oberfläche zu Chromosphäre. Jetzt können Oberfläche und Protuberanzen getrennt voneinander bearbeitet werden.

Schärfung mit möglichst geringer Grobkörnigkeit des Bildes. Dabei wählt man eine Einstellung von 0,3 bis 0,5 Pixel als Radius. Dieser Wert hängt stark von der Brennweite des Systems ab. Bei einer Brennweite von 1800mm verwendet der Autor eine Einstellung von 0,3 Pixeln. Bei geringerer Brennweite ist entsprechend weniger Weichzeichnung notwendig. Darauf folgt eine zweite Schärfung mit Werten, die aber auch etwas geringer ausfallen können.

Je nach Qualität des verwendeten Ha-Filters am Teleskop ist ggf. noch eine Erhöhung des Kontrastes notwendig. Hierzu bedient man sich der Tonwertkorrektur. Durch Bewegen des Reglers unter der Tonwertkurve nach links und des linken Reglers nach rechts kann man das Bild kontrastreicher erscheinen lassen. Hierbei werden die Bereiche, die keine Tonwertinformation haben, einfach abgeschnitten, wodurch das Bild einen ausgewogeneren Charakter bekommt.



Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

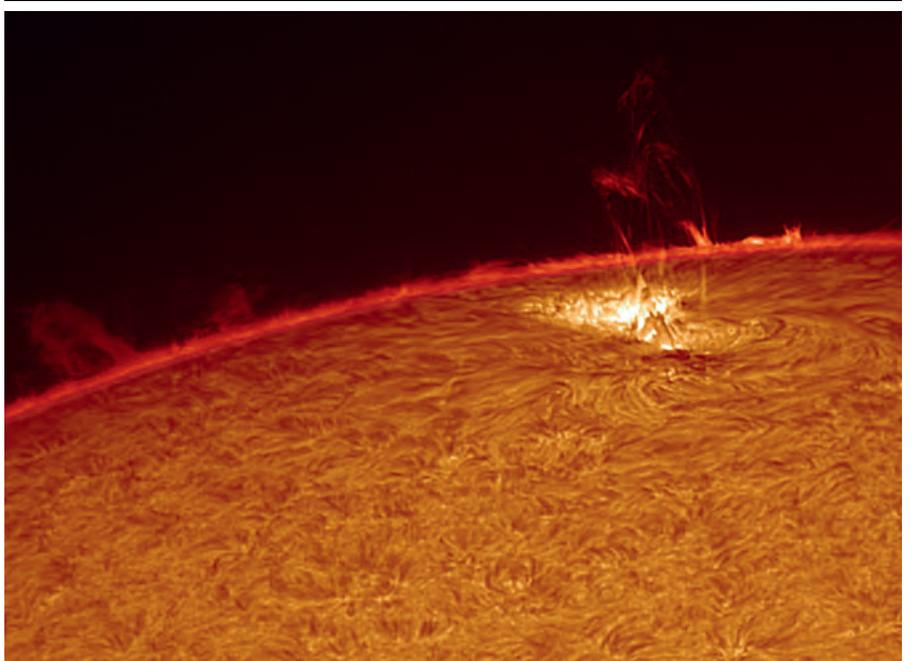
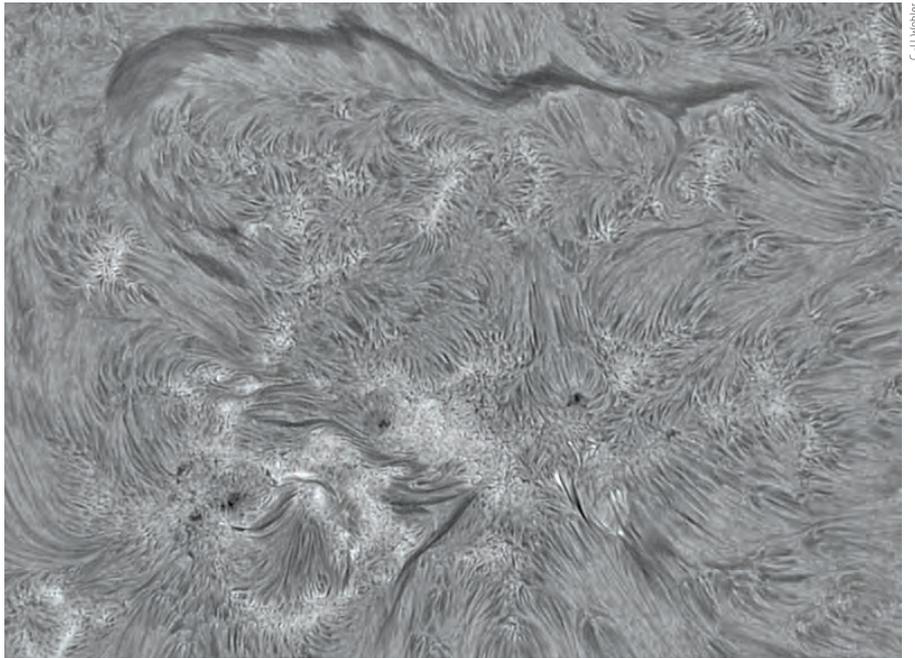
► Abb. 6: **Bildbeispiele**, aufgenommen mit einem 120mm-Refraktor bei 1800mm, DMK 31AF03, G-ERF 135mm, PST-Etalon, Coronado BF10, 1,8x-Barlowlinse: Aktive Region 11324 am 23.10.2011 gegen 11:00 MESZ (oben), Protuberanzen am 13.11.2011 gegen 9:40 MEZ (Mitte), Protuberanzen und Oberfläche am 28.5.2011 gegen 8:45 MESZ (unten).

Oberfläche und Protuberanzen angelegt werden. Um diese so zu platzieren, dass das fertige Bild natürlich aussieht, bedarf es etwas Übung. Es ist aber durchaus möglich, Oberfläche und Protuberanzen so zu bearbeiten, dass im Bereich der Chromosphäre ein natürlich aussehender Übergang geschaffen werden kann.

Kolorieren

Ein reines Oberflächen- oder Protuberanzenbild wäre als Schwarz-Weiß-Bild jetzt fertig. Andererseits gibt es auch die Möglichkeit, aus schwarz-weißen Sonnenaufnahmen künstliche Farbaufnahmen zu erstellen, welche durchaus natürlich wirken können, auch wenn es sich um Falschfarben handelt. »Echtes« H α -Licht strahlt in einem tiefen Rot – die meisten Sonnenfotos finden empfinden kurzwelligeres Licht als subjektiv schöner. Dazu wird das Graustufenbild in ein RGB-Bild umgewandelt. Durch erneute feinfühligere Tonwertkorrektur erreicht man eine orange, gelbe oder rötliche Färbung der Sonnenoberfläche – je nach Gusto.

Nachdem die Oberfläche so bearbeitet wurde, wird die Maske umgekehrt und die Protuberanzen werden eingefärbt. Dabei entstehende Unterschiede der Helligkeit zwischen Protuberanzen und Oberfläche sind nicht reell. Die Protuberanzen werden heller dargestellt, als sie in Wirklichkeit sind, da sie sonst neben der sehr viel heller scheinenden Oberfläche überstrahlt wären. Auch die Wahl der Farben wird individuell geändert. In Wahrheit strahlen alle aufgenommenen Einzelheiten im Licht der H α -Linie und damit in einem identischen Farbton.



SURFTIPPS



AviStack

☞ www.avistack.de

Registax

☞ www.astronomie.be/registax

Homepage des Autors

☞ www.cuwohler.de

Die Sonne auf dem Handy

iOS- und Android-Apps für Sonnenbeobachter

von Ullrich Dittler

U. Dittler

▲ Abb. 1: Smartphones und Tablets bieten die Möglichkeit, sich überall schnell über Sonnenephemeren und Sonnenaktivität zu informieren. Neben zahlreichen Internetseiten gibt es auch etliche spezielle Apps dafür.

Smartphones und Tablets bieten Sonnenbeobachtern gute Möglichkeiten, die Beobachtung der dynamischen Vorgänge auf der Sonne vorzubereiten und zu verfolgen: Ein kurzer Blick auf die einschlägigen Webseiten oder eine der zahlreichen Apps zeigt schnell, welche aktuellen Ereignisse auf der Sonne stattfinden sowie beobachtet werden können. Das Angebot an Apps ist dabei breit und umfangreich.

Apps zur Bestimmung von Auf- und Untergangszeiten

Die Bestimmung von Auf- und Untergangszeiten von astronomischen Objekten gehört zu den Standardfunktionen von Astro-Software und virtuellen Planetarien, wie sie regelmäßig auch in den App-Rezensionen in interstellarum vorgestellt werden. Dennoch gibt es eine ganze Reihe von kleinen Apps für iPhone, iPad aber auch Android-Phones und -Tablets, die sich auf diese

Aufgabe spezialisiert haben: Zwei sollen hier vorgestellt werden, vier weitere (mit etwas eingeschränkterem Funktionsumfang) finden sich in der Tabelle.

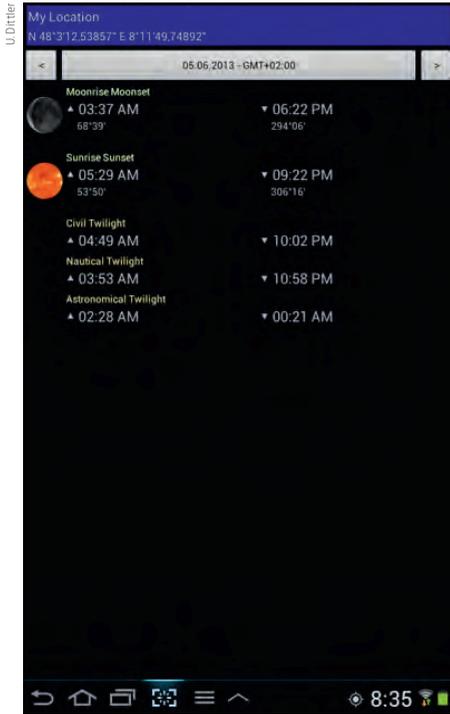
Sunrise, Sunset

Diese kleine Anwendung verwendet in der kostenfreien »Lite«-Version die GPS-Koordinaten des Anwenders zur Bestimmung des Standorts und zeigt für diesen die Auf- und Untergangszeitpunkte – sowie die sich daraus ergebende Dauer des Tageslichtes – an. Diese App benennt zudem die Zeitpunkte des Beginns und des Endes der bürgerlichen Dämmerung. Das Datum, für das die Auf- und Untergangszeiten angezeigt werden sollen, kann frei gewählt werden. Zudem weist die App – als einzige der hier genannten Anwendungen – tagesaktuell den Zeitpunkt des Meridiandurchgangs aus.

Deutlich leistungsfähiger ist die »Pro«-Version: Zusätzlich zu den genannten Features der »Lite«-Version kann der Anwender in

▼ Abb. 2a: Bestimmung der Auf- und Untergangszeiten der Sonne: die iPhone-App »Sunrise, Sunset«.





▲ Abb. 2b: Bestimmung der Auf- und Untergangszeiten der Sonne: die Android-App »Living in the sun«.

dieser Version auch den Ort frei wählen, für den ihn die Sonnenauf- und untergangsdaten interessieren, der Stand der Sonne am Himmel wird zudem auf einer zweidimensionalen Grafik dargestellt.

Living in the sun (kostenlose Version)

Die Android-App »Living in the sun« bietet in der kostenlosen und werbefinanzierten Version ebenfalls die Möglichkeit sich die Auf- und Untergangszeiten von Mond und Sonne anzeigen zu lassen, wobei diese App zwischen

astronomischer, nautischer und bürgerlicher Dämmerung differenziert.

Gemeinsam ist den aufgeführten Apps dieser Rubrik, dass sie zuverlässig die Auf- und Untergangszeiten unseres Tagesgestirns anzeigen. Unterschiede sind dabei weniger in den Funktionen, als vielmehr in der grafischen Gestaltung zu finden – so dass bei der Wahl eher das ästhetische Empfinden des Nutzers den Ausschlag für die eine oder andere App geben wird.

Apps zur Bestimmung der Sonnenposition

Wer nicht nur an den Auf- und Untergangszeiten der Sonne, sondern auch an deren Position am Himmel interessiert ist, beispielsweise um planen zu können, wo genau die Sonne zum geplanten Beobachtungszeitpunkt stehen wird, der ist mit den folgenden Apps gut bedient:

Living in the Sun (Pro-Version)

In der kostenpflichtigen »Pro«-Version bietet die Android-App »Living in the sun« über die genannten Funktionen hinaus die Möglichkeit, den Pfad der Sonne zweidimensional darzustellen und die Position der Sonne mit Hilfe eines Kompasses aufzuzeigen.

Sun Position

Diese iPhone-App ist auf das Wesentliche reduziert: In einer grafischen Darstellung – die der Darstellung in der App »Sunrise & Sunset Pro« ähnelt –, wird die Position der Sonne auf einer zweidimensionalen Darstellung angezeigt, nachdem der Anwender

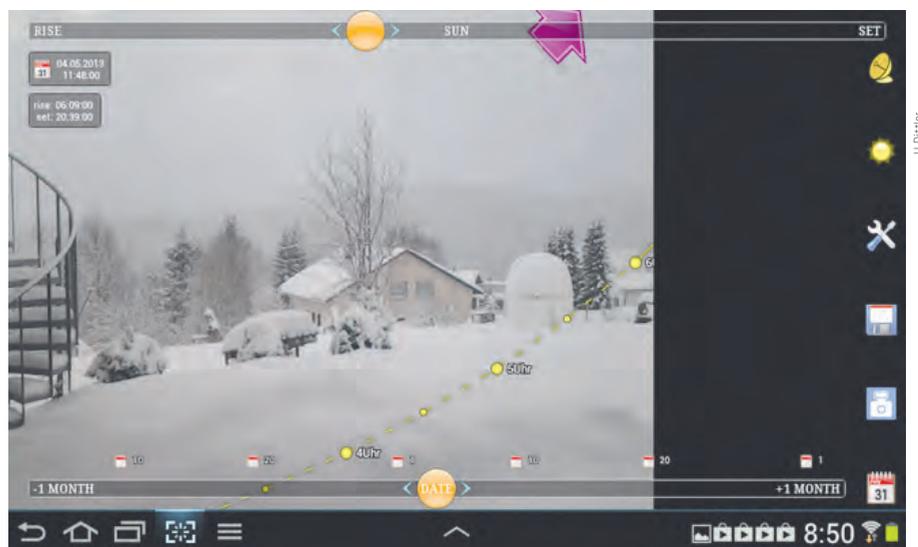
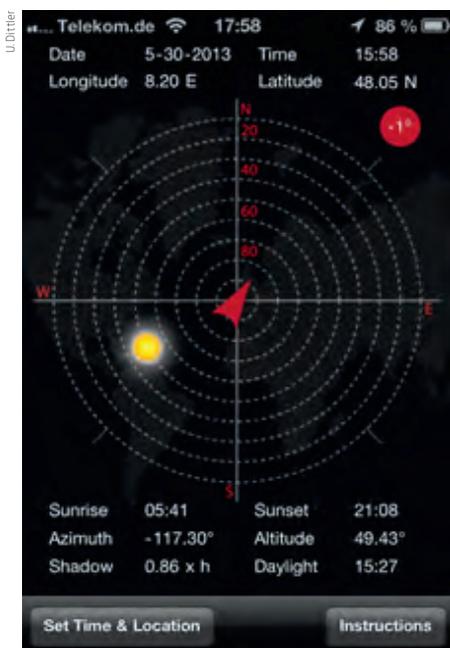
Beobachtungsort und -zeit eingestellt hat, bzw. sich diese aus den Systemdaten des iPhone hat auslesen lassen.

Sun Trajectory

Die aus digitalen Sternkarten bekannte Funktion der »Erweiterten Realität« (Augmented Reality) überträgt die Android-App »Sun Trajectory« auf den Lauf der Sonne und des Mondes: Die Anwendung nutzt die Kamera des Mobiltelefons bzw. des Tablets, um den Weg der Sonne über das Livebild der Kamera zu legen, so dass der Anwender sehen kann, welche Bahn die Sonne am Himmel nimmt. Das der berechneten Sonnenbahn zugrunde liegende Datum kann dabei beliebig verändert werden, so dass sich beispielsweise sehr anschaulich die unterschiedlichen Höhen der Bahn im Sommer und Winter vergleichen lassen. Leider ist die Berechnung der Bahnen nur begrenzt exakt; beim Test mit einem aktuellen Android-Tablett sind erhebliche Abweichungen zur tatsächlichen Sonnenposition festzustellen.

Sun Surveyor

»Sun Surveyor« ist eine für iPad und Android erhältliche App, die – zumindest in der kostenpflichtigen Version – zweifellos eine Referenz-App für Sonnenbeobachter ist! Diese App bietet nicht nur detaillierte Informationen zum Stand und Lauf der Sonne, sondern kann diese auch in einem dreidimensionalen Modell anzeigen, auf einer Kartenansicht präsentieren und mittels »Erweiterter Realität« (Augmented Reality) die berechneten Bahnen über das Livebild der Kamera legen, so dass der Anwender direkt sehen kann, über welchem geografischen



▲ Abb. 3a: Bestimmung der Sonnenposition: die iPhone-App »Sun Position« (links) und die Android-App »Sun Trajectory« (oben).

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



▲ Abb. 3b: Bestimmung der Sonnenposition: die als Android- und iOS-App verfügbare Anwendung »Sun Surveyor«.

oder städtebaulichen Merkmal der Sonnen- auf- oder -untergang seinen Lauf nimmt, bzw. welche Bahn das Tagesgestirn am Himmel zieht. In der kostenfreien »Lite«-Version entfallen die beiden zentralen und hilfreichen Funktionen der Kartendarstellung und der Darstellung mittels Augmented Reality-Überlagerung.

Zur Vorbereitung von Sonnenbeobachtungen ist die für beide Betriebssysteme erhältliche App »Sun Surveyor« zweifellos sehr gut geeignet: Durch die Augmented Reality-Funktion bietet sie dem Anwender nicht nur umfangreiche Informationen zum Lauf der Sonne, sondern bietet direkt auch die Möglichkeit am Beobachtungsort individuell zu prüfen, an welchen Tagen oder zu welchen Beobachtungszeiten die Sonne von Bäumen oder Gebäuden bedeckt sein wird.

▼ Abb. 4a: Verfolgung der Sonnenaktivität: unterschiedlich detaillierte Auskunft geben die iPhone-App »RealSun« (links), die iPhone-App »Solar Monitor« (Mitte links), die Android- und iOS-App »NASA SpaceWeather« (Mitte rechts) sowie die iPhone-App »StarQuake« (rechts).



Apps zur Verfolgung der Sonnenaktivität

Bei der Vorbereitung einer Sonnenbeobachtung ist nicht nur wichtig, ob und wann die Sonne vom gewählten Standort aus zu sehen sein wird, sondern auch, welche Ereignisse aktuell auf der Sonne zu beobachten sind.

RealSun

Für die Sonnenbeobachter, die im H α - oder CaK-Licht beobachten wollen, kann die iPhone-App »RealSun« eine große Hilfe sein, da das Programm die aktuellen Aufnahmen des gemeinsam von ESA und NASA betriebenen Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) auf dem iPhone darstellt: Neben vier Bildern des EIT (Extreme ultraviolet Imaging Telescope), die mit unterschiedlichen Parametern gewonnen werden (30,4nm (rot), 28,4nm (gelb), 19,5nm (grün) und 17,1nm (blau)) stehen auch Kontinuums- und Magnetogrammbilder des MDI (Michelson Doppler Imager) und die LASCO-C2- und -C3-Bilder des Large Angle and Spectrometric Coronagraph zur Verfügung. Der Anwender kann die Reihenfolge der Darstellung der einzelnen Abbildungen nach Belieben konfigurieren – so dass der engagierte H α -Beobachter beispielsweise direkt nach dem Starten des Programms auf einen Blick sieht, ob es sich lohnt sein Instrument aufzubauen.

Soho Viewer

Die iPad-App »Soho Viewer« entspricht in ihrem Funktionsumfang der vorgenannten App, ist jedoch für das größere Display des Tablet-PCs ausgelegt (in der iPhone-Version wirkt die Darstellung auf

dem kleineren Display etwas beengt): Auch diese App zeigt zwei aktuelle Bilder der LASCO-Kameras (C2 und C3) sowie vier Wellenlängen des Extreme ultraviolet Imaging Telescope (EIT171, EIT195, EIT284, EIT304) sowie das MDI-Kontinuumsbild und das MDI-Magnetogramm an.

Solar Dynamics Observatory

Auf die aktuellen Bilder des SDO-Satelliten hingegen hat sich die Android-App »SDO Solar Dynamics Observatory« spezialisiert: Die Anwendung bietet nicht nur die aktuellen Bilder in 15 verschiedenen Wellenlängen des SDO, sondern zusätzliche animierte Sequenzen in den verschiedenen Wellenlängen, die aus den letzten Bildern erstellt wurden. Diese Funktion ist einmalig und ein schönes Alleinstellungsmerkmal der von der NASA herausgegebenen App!

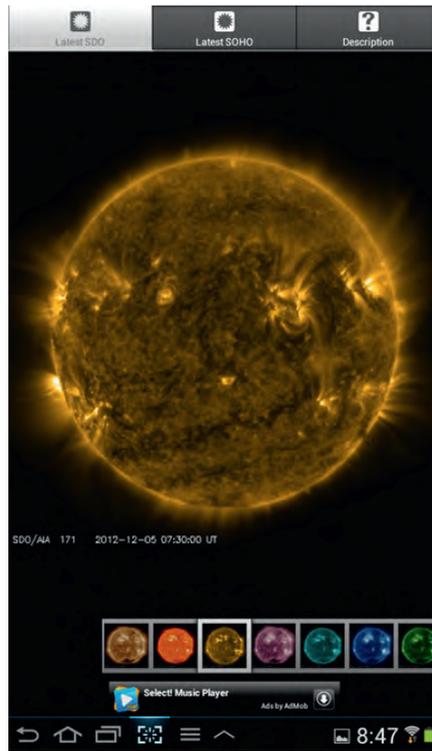
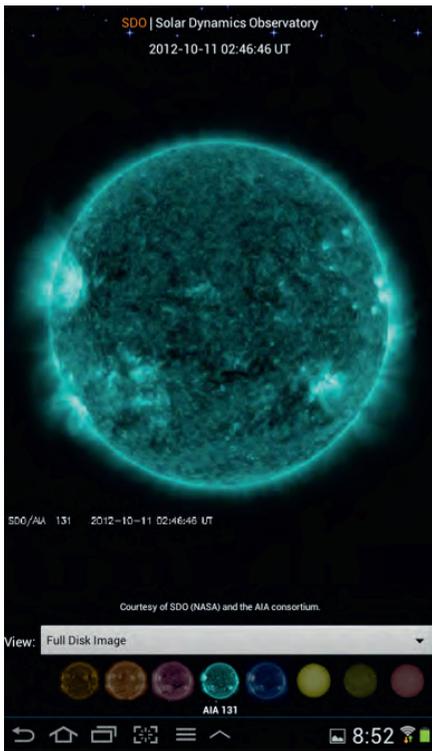
SunSpot

Für Android-Nutzer bietet die kostenlose App »SunSpot« die ähnlichen Funktionen wie »Soho Viewer«: Auch diese App greift auf die aktuellen SDO- sowie SOHO-Bilder in insgesamt 14 (SDO) bzw. 8 Wellenlängen (SOHO) zurück und zeigt diese formatfüllend auf dem Bildschirm an. Kurze Erklärungstexte ergänzen dieses Angebot.

3D Sun

Auf einen einzigen Sonnensatelliten ist die Android- und iOS-Anwendung »3D Sun« spezialisiert: In einer dreidimensionalen Darstellung präsentiert die App die Sonne aus der Sicht der beiden STEREO-Satelliten, wobei der Nutzer auch hier zwischen Aufnahmen in vier verschiedenen Wellenlängen wählen kann. Ergänzt wird diese aktuelle Sonnenansicht durch eine

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



◀ Abb. 4b: Verfolgung der Sonnenaktivität: die Android-Apps »SDO Solar Dynamics Observatory« (links) und »SunSpot« (rechts).

kleine Bildergalerie und einen News-Ticker zu aktuellen Neuigkeiten rund um die Sonnenforschung.

Solar Monitor

Auch die iOS-App »Solar Monitor« stellt die aktuellen SOHO-Bilder zur Verfügung – darüber hinaus bietet das Programm jedoch noch zahlreiche weitere Informationen: Es versteht sich als mobiles Sonnenobservatorium und ist in vier verschiedene Bereiche aufgeteilt: »Monitor«, »Teleskop«, »Vorhersage« und »Diagramme«. Ersterer bietet nicht nur Zugriff auf die aktuellen SOHO-/EIT-Bilder mit 30,4nm (rot), 28,4nm (gelb), 19,5nm (grün) und 17,1nm (blau), sondern zudem auf folgende Daten und Diagramme des NOAA Space Environment Center:

- Statusanzeige der aktuellen solaren Röntgenstrahlung
- Statusanzeige der Erdmagnetfeld-Schwankungen
- Weltraumwetter Warnungen
- Sonnenwindgeschwindigkeit
- Röntgenstrahlung
- planetarer K-Index
- Daten des Boulder NOAA-Magnetometer

Im Bereich »Teleskop« ist der Blick durch ein Teleskop auf die Sonne simuliert, wobei der Anwender wählen kann, ob er das aktuelle Kontinuums- oder Magnetogramm-Bild des MDI oder das LASCO-C2- bzw. -C3-Bild oder auch die beiden Bilder des STEREO-Sonnensatelliten sehen möchte. Die in diesem Bereich ebenfalls zur Auswahl

stehende grafische Darstellung der Polarlichtaktivitäten ist zwar aufschlussreich, aber im Bereich »Teleskop« nur bedingt passend untergebracht.

Unter »Vorhersage« sind die Vorhersagen des Weltraumwetters und der geophysikalischen Aktivitäten zusammengefasst sowie die prognostizierten und die tatsächlich gemessenen planetaren Kp-Indizes im Vergleich grafisch dargestellt. Die grafische Darstellung aktueller Messwerte (X-Ray Flux, Magnetometer, Electron Flux etc.) setzt sich auch im Bereich »Diagramme« fort und ist dort ebenfalls durch den Anwender individuell bearbeitbar.

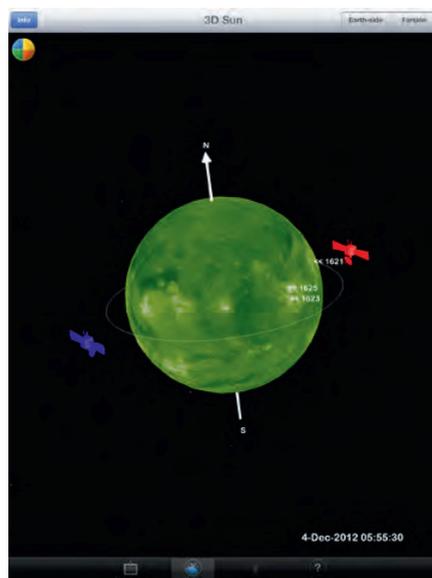
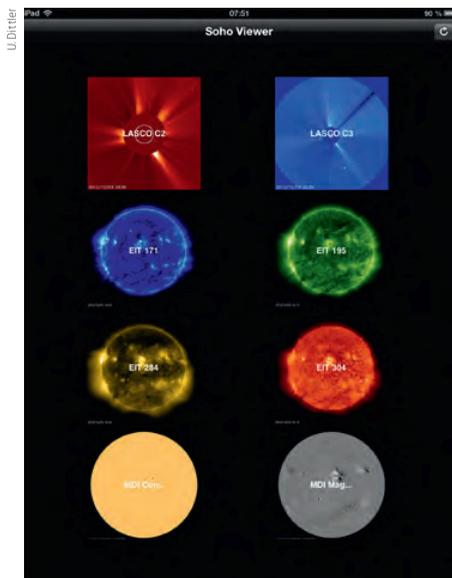
NASA SpaceWeather

Sowohl für das iPhone als auch für Android-Geräte entwickelt wurde die Anwendung »NASA SpaceWeather« bzw. »NASA SWx«, die eine Referenz in diesem Bereich darstellt. Auch diese Anwendung bietet die Ansicht verschiedener aktueller Aufnahmen der Sonne, wobei die App durch die Anzahl der zur Verfügung stehenden Satellitenbilder beeindruckt – deren Auswahl und Reihenfolge der Nutzer frei festlegen kann: Neben den Aufnahmen des SOHO-Satelliten in acht verschiedenen Wellenlängen stehen auch je vier Aufnahmen in verschiedenen Wellenlängen der beiden STEREO-Satelliten zur Auswahl, ebenso Aufnahmen in 13 verschiedenen Wellenlängen des SDO-Satelliten sowie eine große Anzahl an aktuellen Sonnenaufnahmen von erdgebundenen Teleskopen. Insgesamt ergibt sich so eine Liste von 75 verschiedenen Sonnenaufnahmen, aus denen der Beobachter seine bevorzugten Aufnahmen auswählen kann – und diese können noch durch mehr als 100 verschiedene Auswertungsdiagramme der Sonnenaktivität ergänzt werden. Mit Fug und Recht kann diese App als das »Schweizer Taschenmesser« unter den Apps für Sonnenbeobachter bezeichnet werden!

StarQuake

Deutlich weniger Informationen zu den aktuellen Aktivitäten der Sonne, als

◀ Abb. 4c: Verfolgung der Sonnenaktivität: die iPad-App »Soho Viewer« (links) und die für Android wie iPad verfügbare Anwendung »3D Sun« (rechts).



Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

SURFTIPPS



Die Sonne im Web

Es gibt es mittlerweile eine Vielzahl von Internetseiten im In- und Ausland, die sich mit dem aktuellen Geschehen auf der Sonne beschäftigen. Über den Kurznachrichtendienst Twitter werden viele Neuigkeiten über die Sonne schnell verbreitet.

► zusammengestellt von Manfred Holl

Forschungsinstitute

Mt. Wilson Observatory mit aktuellen Magnetogrammen und vielen Informationen rund um die Sonne (in Englisch):

☞ obs.astro.ucla.edu/intro.html

Kiepenheuer-Institut in Freiburg mit umfangreichen Hinweisen über die dortigen Forschungsschwerpunkte:

☞ www.kis.uni-freiburg.de

Sonnenobservatorium Kanzelhöhe mit fast täglichen Sonnenfleckenzeichnungen, Fotos und einem bis in die 1940er-Jahre zurückreichenden Archiv mit Sonnenzeichnungen:

☞ www.solobskh.ac.at

Catania Astrophysical Observatory mit beinahe täglichen Sonnenaufnahmen und -zeichnungen:

☞ woac.ct.astro.it/index_en.html

Sunspot Influences Data Center (SIDC) mit monatlichen Übersichten und umfangreichen und aktuellen Daten rund um die Sonne:

☞ sidc.oma.be

Raumsonden

Solar Dynamics Observer, mit aktuellen Sonnenbildern verschiedener Wellenlängen, Neuigkeiten und einem großen Angebot an Webinhalten:

☞ sdo.gsfc.nasa.gov/data

Solar and Heliospheric Observatory, ebenfalls mit aktuell wechselnden Bildern und vielen Informationen rund um die Sonne:

☞ sohowwww.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html

Solar TERrestrial RELations Observatory (STEREO) mit aktuellen Bildern und vielen Daten:

☞ stereo.gsfc.nasa.gov

Hinode:

☞ solar-b.nao.ac.jp/index_e.shtml

Tägliche Aktivität

FlareAware mit vielen Informationen über das aktuelle »Weltraumwetter« inkl. Meldungen über Flares, die auch via Twitter verbreitet werden:

☞ flareaware.com

Tägliche Auflistung von Sonnenflecken:

☞ www.sec.noaa.gov/ftpmenu/forecasts/SRS.html

Tägliche Auflistung von Flares:

☞ www.sec.noaa.gov/ftpmenu/forecasts/RSGA.html

Erläuterungen zu Flares:

☞ www.sci.fi/~fmbb/astro/glossar1.htm

Sonnenfotos der interstellarum-Leser:

☞ www.sonne-aktuell.de

Sonnenblog von Manfred Holl:

☞ sonnenbeobachtung.blogspot.de

Arbeitskreis Meteore über

Sonnenaktivität und Polarlichter:

☞ www.meteoros.de/forum.htm

Analysen der Aktivität

Sporadische Berichte zum Sonnenfleckenzyklus:

☞ sunspotcycle.com

Vorhersageseite des Marshall Space Flight Center der NASA:

☞ solarscience.msfc.nasa.gov/predict.shtml

Seite mit umfangreichen Informationen zu allen bisher bekannten Fleckenzyklen:

☞ www.schulze-md.de/

Amateurseiten

Aktuelle Fotos der interstellarum-Leser:

☞ www.sonneaktuell.de

Fachgruppe Sonne der Vereinigung der Sternfreunde e.V. mit vielen Tipps für die Beobachtung und Ergebnisauswertung:

☞ www.sonneonline.org

Wolfgang Strickling bringt sehr viele Informationen zur Sonne, zu Sonnenfinsternissen und eine sehr umfangreiche Linkliste:

☞ www.strickling.net/astro.htm
#Sonnenbeobachtung

Aufnahmen von Harald Paleske:

☞ www.unigraph.de

Aufnahmen von Cai-Usu Wohler mit vielen aktuellen Bildern zur Sonne:

☞ www.cuwohler.de

Sonnenfinsternisse

Sonnenfinsternis-Experte Fred Espenak:

☞ eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html

Jay Andersons Seite mit vielen Wetter-Infos:

☞ home.cc.umanitoba.ca/~jander

Twitter

Mehr oder weniger regelmäßige Informationen über Aktuelles zum Geschehen zwischen Sonne und Erde:

☞ @SolarHam

Twitteraccount der bekannten Website www.spaceweather.com:

☞ @spaceweather

Hier bekommt man regelmäßig Informationen und Vorhersagen zum »Weltraumwetter«:

☞ @SpaceWxMonitor

Gibt tägliche Hinweis zur Online-Zeitung SunspotAlert bei paper.li:

☞ @SunSpotAlert

Mehrmals tägliche, zeitnahe Informationen über solare Flares (in Englisch), das aktuelle »Weltraumwetter« etc.:

☞ @FlareAware

Meldungen zur Sonnenforschung, allerdings eher unregelmäßig:

☞ @UCLanSDO

Mindestens einmal pro Tag ein Tweet mit neuesten Nachrichten über die Sonne in Englisch:

☞ @TheSunToday

Bietet sehr unregelmäßig Informationen zum Sonnenwind:

☞ @SolarSurfinWind

Wer an News zum Solar Dynamics Explorer und anderen astronomischen Fachgebieten interessiert ist, wird hier fündig:

☞ @NASA_SDO

Ab und zu wird über die Ergebnisse der japanischen Sonnenprobe Hinode-6 getwittert:

☞ @Hinode_6_2012

Der private Twitteraccount des bekannten Polarlichtbeobachters Ulrich Rieth informiert regelmäßig über Sichtbarkeit oder Nicht-Sichtbarkeit von Polarlichtern:

☞ @U_Rieth

Warnt regelmäßig vor Sonnenstürmen:

☞ @solarstormwatch

vielmehr detaillierte und beeindruckende Zeitraffervideos der Sonne sind die Inhalte der iPhone-App »StarQuake«. Die Anwendung vereint vierzehn rund 30s- bis 90s-Videos (die von der offiziellen NASA-Website stammen): Die Zeitraffer von Eruptionen im Ha-Licht, von der Entwicklung von Sonnenflecken, der Drehung der Sonne, des Venustransits etc. sind hierbei erfreulicherweise durch informative und erklärende Texte ergänzt. Eine Besonderheit der Anwendung besteht darin, dass insgesamt fünf der Videos für die stereoskopische Betrachtung mit einer Rot-grün-Brille aufbereitet wurden und so auch einen räumlichen Eindruck der gezeigten Ereignisse ermöglichen. Die Zugriffsmöglichkeiten auf einige aktuelle SOHO-/EIT-Bilder ergänzen diese App.

Weitere Apps

Damit ist das Angebot an Apps für Sonnenbeobachter aber noch nicht erschöpft: In die Tabelle haben wir für Sie noch ausgewählte Apps aufgenommen, die sich mit einem besonderen Sonnenphänomen befassen: den Sonnenfinsternissen.

Apps für Sonnenbeobachter			
Name	Verfügbar für iOS	Verfügbar für Android	Preis
Local Sun & Moon	nein	ja	kostenlos
Sun Moon	iPhone	nein	kostenlos
Die Sonne – Aufstieg und Fall	iPhone, iPad	nein	kostenlos
Die Sonne – Aufstieg und Fall Plus	iPhone, iPad	nein	0,89€
Sunrise, Sunset – Light	iPhone	nein	kostenlos
Sunrise, Sunset – Pro	iPhone	nein	1,79€
Sunset & Sunrise	iPad	nein	0,89€
Living in the sun – Free	nein	ja	Kostenlos
Living in the sun – Pro	nein	ja	2,00€
Sun Position	iPhone	nein	0,89€
Sun Trajectory	nein	ja	3,99€
Sun Surveyor	iPad	ja	5,49€ / 5,35€
RealSun	iPhone	nein	2,69€
Soho Viewer	iPhone, iPad	nein	kostenlos
Solar Dynamics Observatory	nein	ja	kostenlos
SunSpot	nein	ja	kostenlos
3D Sun	iPhone, iPad	ja	kostenlos
Solar Monitor	iPhone, iPad	nein	8,99€
NASA SpaceWeather	iPhone	ja	kostenlos
StarQuake	iPhone	nein	0,89€
Solar Eclipses HD	iPhone/iPad	nein	kostenlos
Total Solar Eclipses	iPhone	nein	kostenlos
Eclipse Calculator	iPhone	nein	1,79€
Eclipse	iPhone	nein	1,79€
EclipseDroid	nein	ja	1,90€

interstellarium 87



Seit 8.3.2013 im Handel.

interstellarium 88



Ab 17.5.2013 im Handel.

Abonnement

8 Hefte jährlich: 6 Ausgaben
zweimonatlich + 2 Sonderhefte
59,90€ (DE, AT), 64,90€ (CH, Ausland)
www.interstellarium.de/jahresabo.asp

Abo-Service

Sylvia Schaub, aboservice@interstellarium.de,
091 31/970694

Impressum

interstellarium

Zeitschrift für praktische Astronomie
gegründet 1994 von Jürgen Lamprecht,
Ronald Stoyan, Klaus Veit

Verlag

Oculum-Verlag GmbH, Spardorfer Str. 67,
91054 Erlangen

Geschäftsführung

Ronald Stoyan

Chefredaktion

Ronald Stoyan

Redaktion

Daniel Fischer, Dr. Frank Gasparini,
Dr. Hans-Georg Purucker
redaktion@interstellarium.de

Kolumnen

Prof. Dr. Ullrich Dittler, Kay Hempel, Manfred
Holl, Matthias Juchert, Karl-Peter Julius, André
Knöfel, Burkhard Leitner, Uwe Pilz, Stefan Seip,
Lambert Spix, Wolfgang Vollmann

Astrofotos

Siegfried Berghthal, Stefan Binnewies, Michael
Deger, Ullrich Dittler, Torsten Edelmann, Bernd
Flach-Wilken, Ralf Gerstheimer, Michael Hoppe,
Bernhard Hubl, Michael Jäger, Wolfgang Kloehr,
Bernd Koch, Siegfried Köhler, Erich Kopowski,
Walter Koprolln, Bernd Liebscher, Norbert
Mrozek, Gerald Rhemann, Johannes Schedler,
Rainer Sparenberg, Sebastian Voltmer,
Manfred Wasshuber, Mario Weigand, Volker
Wendel, Dieter Willasch, Peter Wienerroither,
Thomas Winterer

Herstellung

Christian Protzel, Frank Haller

Grafik

Frank Haller, Dr. Frank Gasparini,
Stephan Schurig, Arnold Barmettler

Anzeigen

es gilt die Preisliste Nr. 14 vom 1.11.2012
www.interstellarium.de/mediainfo.asp

Anzeigenleitung

Anne-Katrin Pawelek,
werbung@interstellarium.de, 091 31/970694

Vertrieb (DE, AT, CH)

Verlagsunion KG, Am Klingenberg 10,
65396 Walluf, ISSN 0946-9915

Hinweise für Leser

Bildorientierung: Allgemein: Norden oben, Osten links; Planeten: Süden oben, vorangehender Rand links
Datenquellen: Sonnensystem: Kosmos Himmelsjahr, Ahnerts Kalender für Sternfreunde, Cartes du Ciel; Deep-Sky: Deep Sky Reiseführer, NGC/IC W. Steinicke, Deep Sky Field Guide, CalSky
Koordinaten: äquatoriale Koordinatenangaben, Äquinoktium 2000.0
Helligkeiten: sofern nicht anders angegeben V-Helligkeit
Deep-Sky-Objekte: DS (Doppelstern), OC (Offener Sternhaufen), PN (Planetarischer Nebel), GN (Galaktischer Nebel), GC (Kugelsternhaufen), Gx (Galaxie), Qs (Quasar), As (Sternmuster)
Kartenverweise: Deep Sky Reiseführer (DSRA), Uranometria 1. Auflage (Uran.), Fotografischer Mondatlas (FMA)

INTERAKTIV



Senden Sie uns Ihre Texte und Bilder!

interstellarium veröffentlicht Ihre Texte zu allen Bereichen der praktischen Astronomie. Wir freuen uns über Ihre Artikel, Bilder und Beschreibungen!

Objekte der Saison für die kommenden Ausgaben

Name & Sternbild	Vorstellung	Ergebnisse	Einsendeschluss
M 10 (Oph), IC 4665 (Oph)	Heft 82	Heft 88	20.3.2013
M 26 (Sct), M 25 (Sgr)	Heft 83	Heft 89	20.5.2013
IC 1848 (Cas), NGC 1245 (Per)	Heft 84	Heft 90	20.7.2013
NGC 1981 (Ori), NGC 1535 (Eri)	Heft 85	Heft 91	20.9.2013
M 81/82 (UMa), NGC 2392 (Gem), NGC 3079 (UMa)	Heft 86	Heft 92	20.11.2013
M 3 (CVn), M 106 (CVn), NGC 4244 (CVn)	Heft 87	Heft 93	20.1.2014

Für eingesandte Beiträge, insbesondere Fotos, überlassen Sie uns das Recht für einen einmaligen Abdruck im Heft und auf der Archiv-CD. Weitere Nutzungen in Büchern sind nicht gleichzeitig gegeben und bedürfen der Genehmigung durch den Autor. Ausgenommen davon ist der Abdruck ausgewählter Bilder in der Vorschau für die nächste Ausgabe und unter www.interstellarium.de.

Prinzipiell drucken wir nur unveröffentlichte Fotos und Texte. Parallelveröffentlichungen bereits eingesandter Materialien sind gesetzlich für den Zeitraum eines Jahres nach Abdruck

untersagt (§ 2-1 Verlagsgesetz) – wir bitten um Beachtung. Bitte informieren Sie uns, ob Ihre Beiträge schon an anderer Stelle veröffentlicht worden sind.

Wir behalten uns vor, bei der Bearbeitung Randpartien einer Aufnahme abzuschneiden und diese zu verkleinern/vergrößern sowie orthographische und sprachliche Korrekturen vorzunehmen. Eingesandte Beiträge werden nicht sinnstiftend verändert bzw. gekürzt ohne Einverständnis des Autors. Der Verlag übernimmt keine Haftung für unverlangt eingesandtes Material.

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.