

# Lichtbrücken in Sonnenflecken

## Rasante Entwicklungen lohnen die Beobachtung

*Moderne Beobachtungstechniken stellen ein seit Langem bekanntes Phänomen in den Brennpunkt der Sonnenforschung: Lichtbrücken. Diese »hellen Gebiete innerhalb von Sonnenflecken« lassen sich drei grundsätzlichen Typen zuordnen, die sich physikalisch und hinsichtlich ihres Erscheinungsbilds unterscheiden. Hier bietet sich nicht nur Astrophysikern, sondern auch Amateurastronomen ein reichhaltiges Betätigungsfeld.*

Von Heinz Hilbrecht und Andreas Lagg

Die Sonne ist für jeden Amateurastronomen ein faszinierendes Objekt. Bereits mit kleinen Teleskopen – und geeigneten Schutzmaßnahmen für die Augen – lassen sich auf der für uns sichtbaren Sonnenoberfläche, der Photosphäre, dunkle Flecken erkennen. Ihre Größe und Form kann ein Beobachter leicht feststellen. Aus der Anzahl der Flecken und Fleckengruppen kann die Sonnenfleckenrelativzahl berechnet werden, die ein direktes Maß für die Sonnenaktivität ist. Außerhalb der Flecken lässt sich bei ruhiger Luft ein feines Muster auf der Sonnenscheibe ausmachen, das dem Tagesgestirn ein gekörntes Aussehen verleiht: die »Granulation«. Die Granulen sind Konvektionszellen, in deren Zentrum heißes Gas aus tieferen Regionen nach oben strömt und abgekühlt an den Rändern wieder nach unten sinkt.

Betrachtet man die Flecken und Fleckengruppen genauer, so lassen sich veränderliche Details unterscheiden. Der dunkle, zentrale Teil eines Flecks ist die Umbra. Er ist von einer etwas helleren Zone umgeben, der Penumbra. Weniger bekannt, aber für Sonnenbeobachter eben-

so reizvoll, ist die helle »dritte Komponente« der Sonnenflecken: die Lichtbrücken (siehe Bilder rechts). Sie spielen eine wichtige Rolle bei der Entwicklung von Flecken und sind ausgesprochen dynamische Gebiete. Hier vollziehen sich in Zeiträumen von Sekunden bis Tagen Veränderungen, die nicht nur für die professionelle Astrophysik von Interesse sind. Auch Amateurastronomen können diese Dynamik beobachten und benötigen dafür nicht einmal ein großes Teleskop. Allerdings ist zur Lichtdämpfung ein Objektivfilter sehr empfehlenswert, was heute dank preiswerter Solarfolien kein finanzielles Problem mehr darstellt.

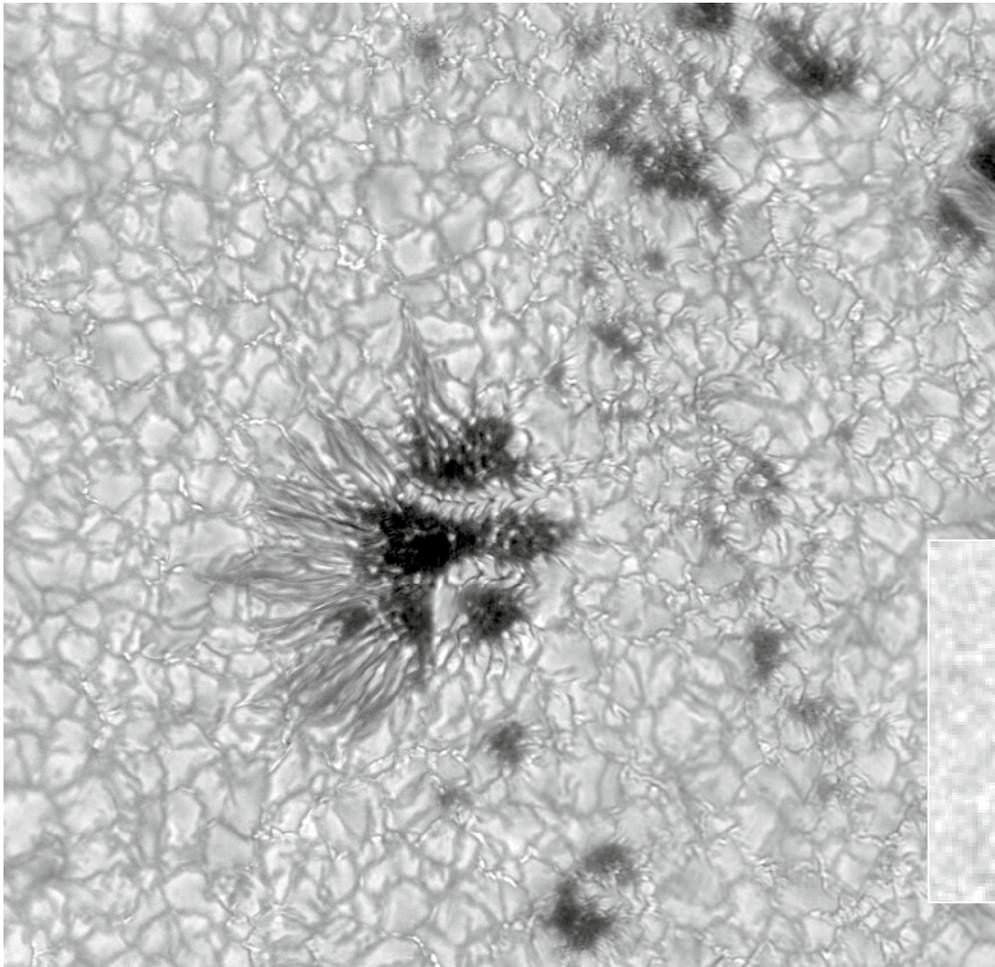
Die beiden hellen Formen von Lichtbrücken können Amateurastronomen bereits mit kleinen Teleskopen sichten. Der erste Typ weist eine feine Körnung auf – eine Granulation, wie sie sich auch abseits von Flecken als feines Muster auf der Sonnenscheibe zeigt. Als weitere Form gibt es »Penumbra-Filamente«, die sich in die Umbra hinein ausbreiten. Der dritte Typ ist für Amateurastronomen eine Herausforderung: Es sind die schwachen Lichtbrücken (englisch: Faint Light Bridges), die

sich mit sehr geringem Kontrast innerhalb der Umbren von Sonnenflecken finden.

Die bekannteste Form einer Lichtbrücke ist ein helles Band innerhalb eines Sonnenflecks, mit einer Granulation und einer Helligkeit ähnlich wie die der Photosphäre. Diese »granularen Lichtbrücken« können sich von außen in den Fleck hinein entwickeln, oder sie entstehen innerhalb eines Flecks und dehnen sich nach außen aus. Lichtbrücken sind häufig ein Zeichen für den beginnenden Zerfall von Flecken. Sie können aber auch in stabilen Sonnenflecken über mehrere Tage hinweg bestehen und dabei nur geringfügige Veränderungen zeigen.

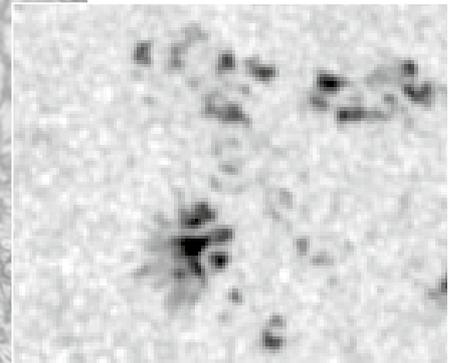
### Granulare Lichtbrücken: dynamische Objekte

Lichtbrücken entstehen jedoch auch bei der Neubildung von Sonnenflecken. Ihr Verlauf scheint sich häufig sogar anzukündigen, indem am Ort der zukünftigen Lichtbrücke die Penumbra fehlt. Bildet sich nun unmittelbar daneben ein neuer Sonnenfleck, so bleibt zwischen den beiden benachbarten Flecken zunächst ein Band mit scheinbar ungestörter Pho-

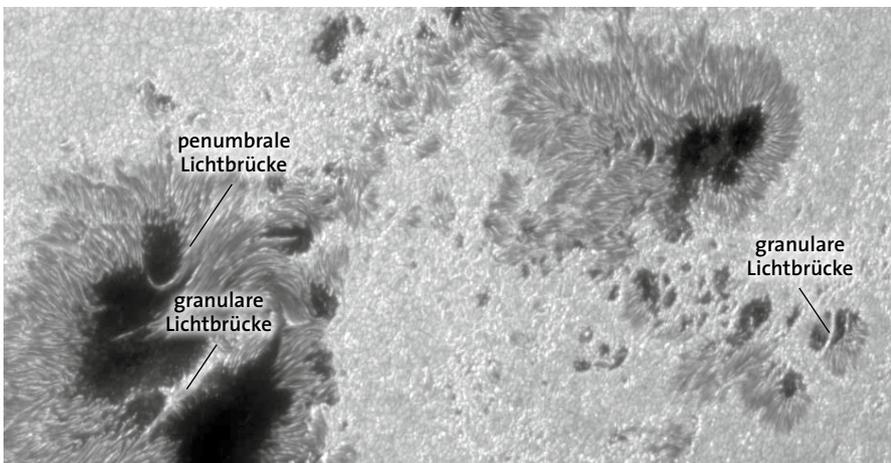


GREGOR

Die neueste Generation von Sonnentelaskopen erschließt uns, wie Lichtbrücken wirklich aussehen: Im Bild links, das am 9. Juni 2013 mit GREGOR auf Teneriffa entstand, zeigen sich helle Bänder innerhalb von Flecken sowie komplexe Strukturen – auch im Zusammenhang mit ihrer Umgebung. Das kleine Bild unten zeigt den gleichen Ausschnitt mit einer Auflösung, wie sie auch Amateurastronomen zugänglich ist.



NASA / SDO / HMI



ISAS / JAXA / NAOJ / Hinode

Die sehr große Sonnenfleckengruppe in der aktiven Region AR 12192 zeigte am 26. Oktober 2014 mehrere Typen spektakulärer Lichtbrücken. Granulare Lichtbrücken bestehen meist nur aus einer Reihe von Granulen.



Die aktive Region AR 12192 im Zeitraffer: <http://tiny.cc/rifizx>

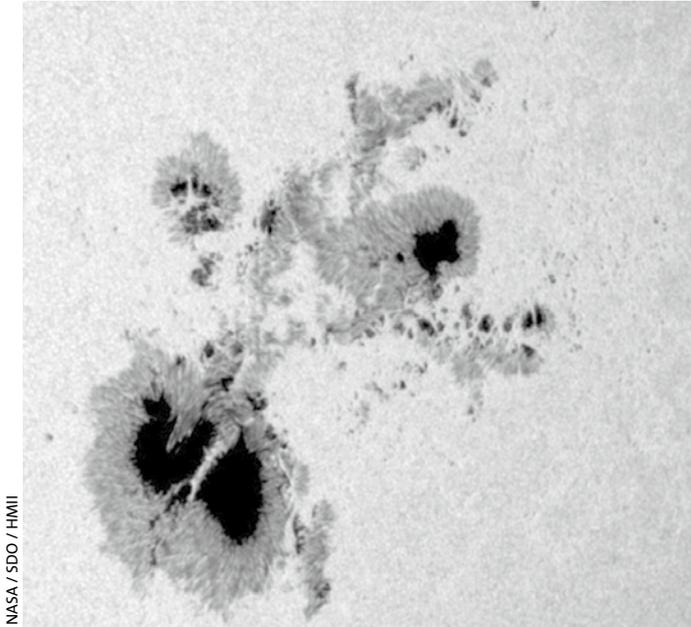
tosphäre übrig. Es erscheint zunehmend schmäler und wirkt wie eingequetscht zwischen den beiden Sonnenflecken (siehe Kasten S. 78).

Solche Lichtbrücken behalten ihre Granulation, man spricht von granularen Lichtbrücken. Sie erscheinen in kleinen Teleskopen im Vergleich zur ungestörten Photosphäre häufig etwas unscharf. Die Ursache liegt in der geringen Größe der Granulen: Innerhalb von Lichtbrücken sind sie etwas kleiner als in der ungestörten Photosphäre.

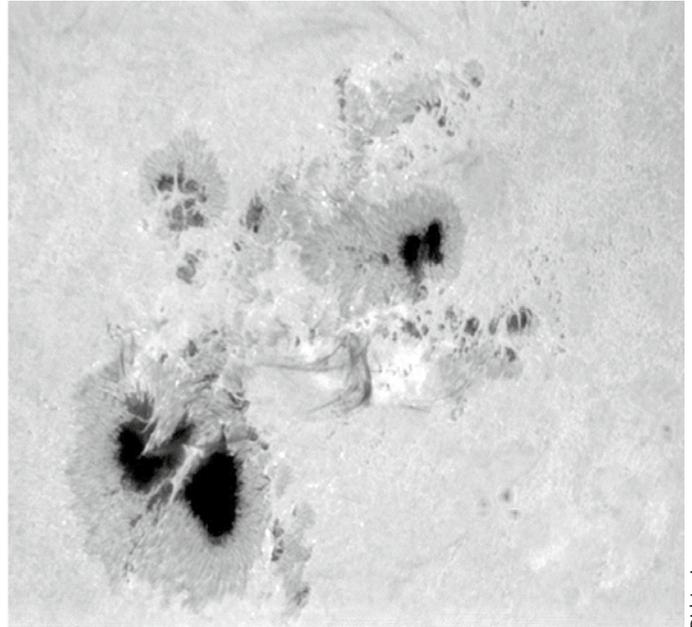
Physikalisch bieten granulare Lichtbrücken starke Kontraste zur Umbra, in die sie eingebettet sind. Umbren sind kühle Gebiete mit starken Magnetfeldern. Hingegen sind granulare Lichtbrücken heiße Gebiete, die in ihrem Inneren kaum ein Magnetfeld aufweisen. Allerdings deuten Beobachtungen darauf hin, dass der abwärts gerichtete Fluss der Konvektion am Rand granularer Lichtbrücken mit dem umgebenden Magnetfeld in Wechselwirkung tritt. Möglicherweise entsteht hier Energie, die zu einer Heizung der darüber-

liegenden Atmosphärenschichten, der Chromosphäre und der Korona, beiträgt. An den Rändern der Granulen sinkt das Gas mit Überschallgeschwindigkeit nach unten. Die Schallgeschwindigkeit in der Photosphäre liegt typischerweise im Bereich von acht Kilometern pro Sekunde.

Die granularen Lichtbrücken sind sehr dynamische Objekte, die ihr Aussehen innerhalb von Sekunden bis hin zu Tagen verändern, was sich auch visuell am Teleskop beobachten lässt. Vor allem zeigen sich Veränderungen der Form,



NASA / SDO / HMI



Dirk Lucius

**Granulen innerhalb granularer Lichtbrücken erscheinen häufig undeutlich, wie in der links dargestellten Weißlichtaufnahme der aktiven Region AR 12192 vom 26. Oktober 2014. Sie sind kleiner als die Granulen der ungestörten Photosphäre. Die Lichtbrücken erscheinen kontrastreicher, wenn sie im Flügel der Spektrallinie H-Alpha des leuchtenden Wasserstoffs fotografiert werden (rechts). Sie zunächst dort zu identifizieren und dann zur Wellenlänge des Linienzentrums zu wechseln, kann die Beobachtung erleichtern.**

Größe und des Verlaufs der Lichtbrücken im Sonnenfleck, aber auch in deren Granulationsmustern. Granulare Lichtbrücken können wachsen, indem sie sich verbreitern, neue Granulenlinien entwickeln, sich in die Umbra verbauen und sie schließlich durchtrennen. Beobachtungen mit hochauflösenden Teleskopen zeigen, dass sich granulare Lichtbrücken wie ein mehrere hundert Kilometer hoher Gebirgszug durch die Umbra ziehen. Bei geringer Luftunruhe kann ein Beobachter dies sogar beim Blick durch ein

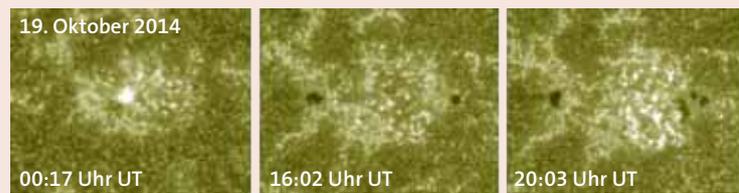
Amateurteleskop erahnen. Hierbei muss sich der Sonnenfleck nahe am Rand der sichtbaren Sonnenscheibe befinden und eine ungefähr in Nord-Süd-Richtung orientierte Lichtbrücke von der Seite her sichtbar sein (siehe Bilder S. 80 oben).

Der Effekt entsteht auch, weil die Umbra transparenter als ihre Umgebung ist und man dort tiefer in die Sonnenphotosphäre hineinblicken kann. Sonnenbeobachter kennen dieses Phänomen als »Wilson-Effekt«, der in Randnähe die Illusion einer Kraterform von Sonnenflecken

## Lichtbrücken bei der Fleckentstehung

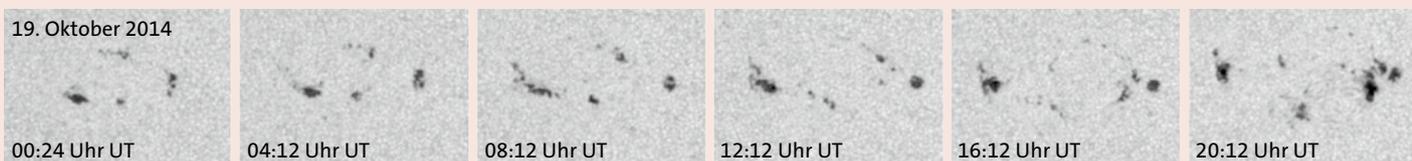
Lichtbrücken stehen häufig mit der Teilung und Auflösung von Sonnenflecken im Zusammenhang. Nicht selten bilden sie sich aber auch, wenn Sonnenflecken wachsen. Die Entstehung einer Lichtbrücke bei der Neubildung eines Flecks ließ sich in der Sonnenfleckengruppe in der aktiven Region AR 12193 Ende Oktober 2014 gut beobachten.

Im Lauf des 19. Oktober entwickelte sich die typische bipolare Struktur einer Fleckengruppe (siehe Bilder unten). Einige Flecken im Norden des Gebiets gerieten in rasche Eigenbewegung und verschmolzen im p-Fleck, der in Rotationsrichtung der Sonne die bipolare Fleckengruppe anführt. Er befindet sich jeweils rechts im Bild. Am Nachmittag des 19. Oktober hatte sich dort eine Ansammlung von Einzelflecken gebildet, die erste Anzeichen für die Bildung einer Penumbra zeigten. Zwischen 15 und 16 Uhr UT entstand daneben ein weiterer Einzelfleck, eine große Umbra.



Am Abend des 19. Oktober schien es, als würden alle Umbren im p-Fleck eine Penumbra und einen ganz normalen Sonnenfleck bilden.

Am Wechsel vom 19. zum 20. Oktober stabilisierte sich allerdings ein schmaler heller Streifen ungestörter Photosphäre. Die Entwicklung zur Lichtbrücke geschah in den frühen Morgenstunden des 20. Oktober: Die Umbren im p-Fleck bildeten eine Penumbra aus, dazwischen blieb die Lichtbrücke stehen.



erzeugt. Der gleiche Effekt erlaubt auch einen Blick auf die heißen Wände der Granulationszellen in granularen Lichtbrücken. Sie erscheinen deshalb in Randnähe ähnlich hell wie Fackelgebiete – die hellen Gebiete außerhalb von Sonnenflecken.

### Penumbrale Lichtbrücken: Geraden und Bögen

Es gibt Strukturen, die sich von der Penumbra ausgehend in die Umbra des Sonnenflecks vorbauen und nicht selten die Umbra teilen: die »penumbralen Lichtbrücken«. Sie beinhalten keine ausgeprägten Granulationszellen und bestehen meist nur aus einem einzelnen Filament. Sie können aber auch Bündel von hellen und dunklen Filamenten bilden, die sich fortentwickeln und über mehrere Tage hinweg stabil bleiben. Penumbrale Lichtbrücken verlaufen auch nicht immer gerade, sondern können innerhalb der Umbra Bögen bilden. Ihre Helligkeit entspricht derjenigen der Penumbra in Sonnenflecken.

Bei der Beobachtung mit einem Amateuerteleskop erscheinen penumbrale Lichtbrücken oft etwas diffus, ähnlich wie die Penumbra selbst. Helle und dunkle Filamente kommen miteinander vor, mehr oder weniger parallel ausgerichtet. Nicht selten finden sich helle oder dunkle »Kno-

ten« in den Filamenten, die sich innerhalb von Minuten bis Stunden verändern. Sie sollten nicht mit den Granulationszellen in granularen Lichtbrücken verwechselt werden. Wie sich penumbrale Lichtbrücken längerfristig entwickeln, ist nur aus Einzelbeobachtungen bekannt. Bei der Teilung von Sonnenflecken kann es Übergänge von penumbralen Lichtbrücken geben, die sich zunächst entwickeln, eine Granulation ausbilden und damit die Teilung des Sonnenflecks vollziehen.

Auch über mehrere Tage stabile Lichtbrücken zeigen häufig im Weißlicht aufgehellte Bereiche, die sich innerhalb von Minuten bis Stunden ausdehnen oder über das Band der Lichtbrücke hinwegwandern können, bevor die Helligkeit wieder abnimmt. Visuelle Beobachter werden solche Veränderungen zuerst den Einflüssen der Luftunruhe oder von Streulicht zuschreiben, die ähnliche Effekte erzeugen können. Die Vorgänge sind allerdings real, wie Bilder von Weltraumteleskopen wie dem Solar Dynamics Observatory belegen.

### Helligkeitsschwankungen und Flammenstrukturen

In hoch aufgelösten Beobachtungen penumbraler Lichtbrücken offenbart sich die Ursache der Helligkeitsveränderungen im wechselnden Verhältnis von hellen und dunklen Filamenten oder hellen Knoten

in den Filamenten. Auch Übergänge von penumbralen und granularen Lichtbrücken fallen durch Helligkeitsveränderungen auf.

Granulare Lichtbrücken zeigen Helligkeitsschwankungen durch Veränderungen in Form und Anzahl der Granulationszellen und ihrer Verteilung in der Fläche. Die einzelnen Granulationszellen sind kleiner als in der ungestörten Photosphäre und können deshalb für Amateuerteleskope unterhalb der Auflösungsgrenze liegen. Werden die Helligkeitsveränderungen in der Nähe des Sonnenrands beobachtet, so können auch geometrische Effekte beteiligt sein, die eine unterschiedlich große Fläche der »heißen Wände« von Granulationszellen exponieren. Bei einer Lebensdauer der Granulen von Minuten können sich deshalb rasche und deutliche Veränderungen ergeben. Auch »Kollisionen« von Umbral Dots mit Lichtbrücken wurden beschrieben. Umbral Dots sind kleinste Konvektionszellen in den oberflächennahen Schichten der Umbra, die nur geringfügig heller sind als diese. Am Kollisionsort steigt die Helligkeit der Lichtbrücke für die Dauer einiger Minuten an.

Lichtbrücken zeigen auch Erscheinungen, die vorzugsweise in bestimmten Spektralbereichen auftreten, beispielsweise im Licht der chromosphärischen Spektrallinien des ionisierten Kalziums

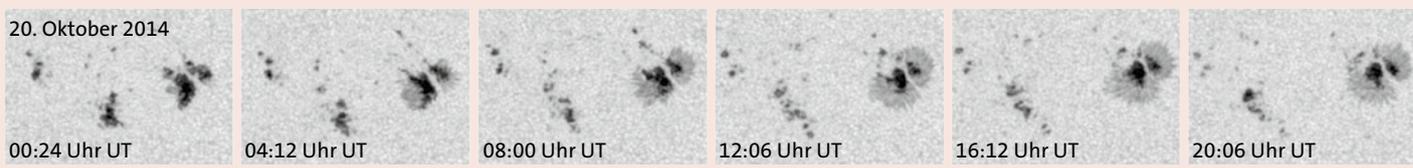


AIA / NASA / SDO

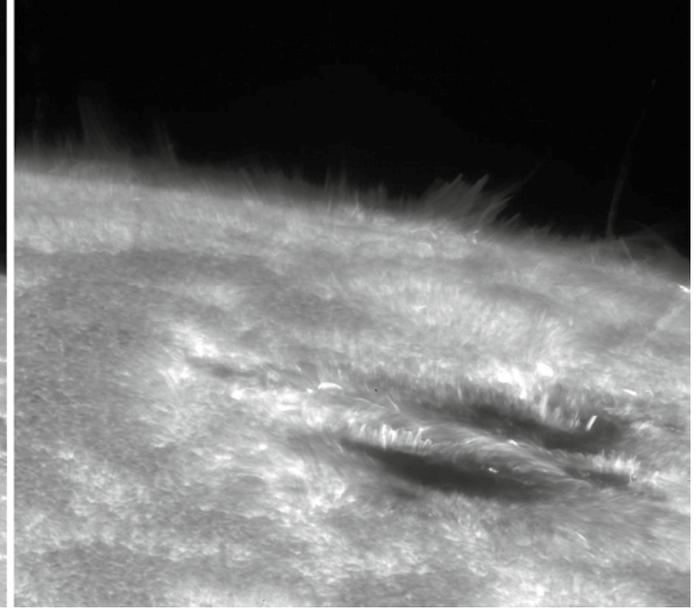
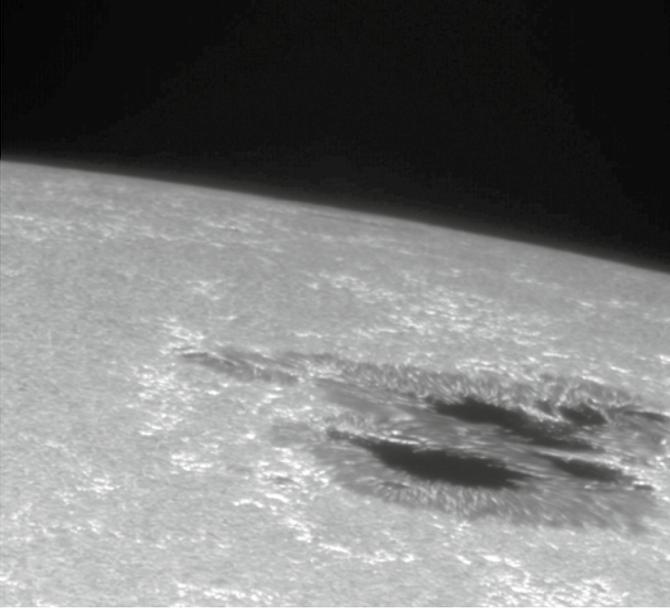
Die im ultravioletten Licht mit der Sonde SDO aufgenommenen Bilder veranschaulichen die Entwicklung von der ungestörten Photosphäre zur aktiven Lichtbrücke. Veränderungen der Helligkeit lassen sich aber auch im Weißlicht an etwa gleichen Orten innerhalb der Lichtbrücke erkennen.

Im UV-Licht, bei der Wellenlänge 160 Nanometer, erschien diese Lichtbrücke zunächst ebenso dunkel wie die ungestörte Photosphäre (siehe Bilder oben). Bis gegen Mittag des 20. Oktober wurde sie heller, ähnlich wie Fackelgebiete außerhalb von Sonnenflecken. Im Norden und Süden der Lichtbrücke entstand eine Penumbra, die innerhalb von Stunden wieder verging. Im Norden entwickelte der p-Fleck schließlich einen kompakten Umriss, die Lichtbrücke nahm den Raum zwischen den Umbren ein.

Lichtbrücken entstehen auch, wenn sich Sonnenflecken neu bilden – hier in der Fleckengruppe der aktiven Region AR 12193 am 19. und 20. Oktober 2014. Die Lichtbrücke bildete sich im p-Fleck, der jeweils rechts im Bild sichtbar ist. Zwischen den einzelnen Aufnahmen liegen jeweils rund vier Stunden.



NASA / SDO / HMI



Nah am Sonnenrand scheinen Lichtbrücken über den Umbren der Flecken zu schweben (links). Dieser Effekt entsteht durch die höhere Transparenz der Umbra. Das im Licht chromosphärischer

Spektrallinien aufgenommene Bild rechts enthüllt zudem die sehr dynamische Flammenstruktur, die für penumbrale Lichtbrücken typisch ist.

## Beobachtungsprojekt »Lichtbrücken«: Machen Sie mit!

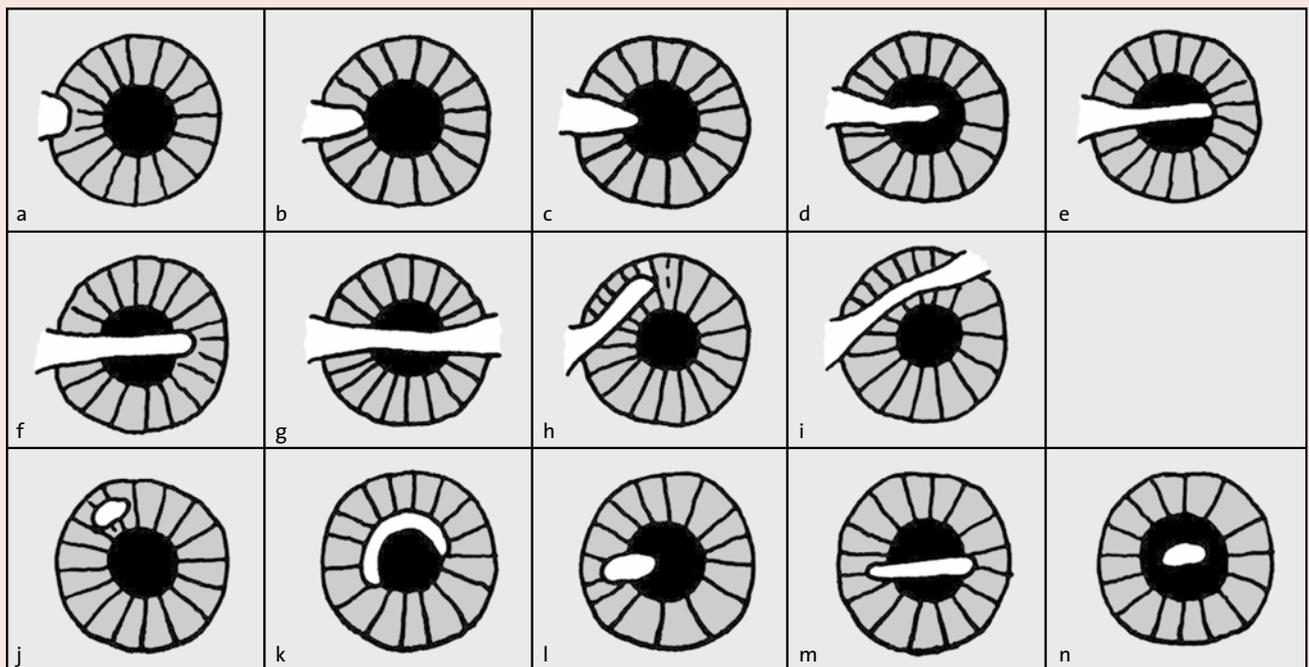
In der Fachgruppe Sonne der deutschlandweiten Vereinigung der Sternfreunde e.V. (VdS) widmen sich Amateurastronomen den Lichtbrücken. Verschiedene Module erlauben den Beobachtern sinnvolle Beiträge, entsprechend ihrer Ausrüstung und ihrer zeitlichen Möglichkeiten. Dabei sind vor allem auch visuelle Beobachter eingeladen mitzumachen, denn das Auge liefert für Helligkeitsveränderungen und kleine Strukturen auf der Sonne häufig bessere Informationen als Fotos. Ein Klassifikationsschema unterscheidet granulare und penumbrale Lichtbrücken.

Im Projekt »Lichtbrücken« soll versucht werden, Filter- und Weißlichtbeobachter zusammenzuführen. Die Teilnahme an Beobachtungskampagnen über einen Tag, eventuell verbunden durch soziale Medien, Skype oder Internetforen, ist möglich. Ebenso eingeladen sind »Schreibtischastronomen«, die mit

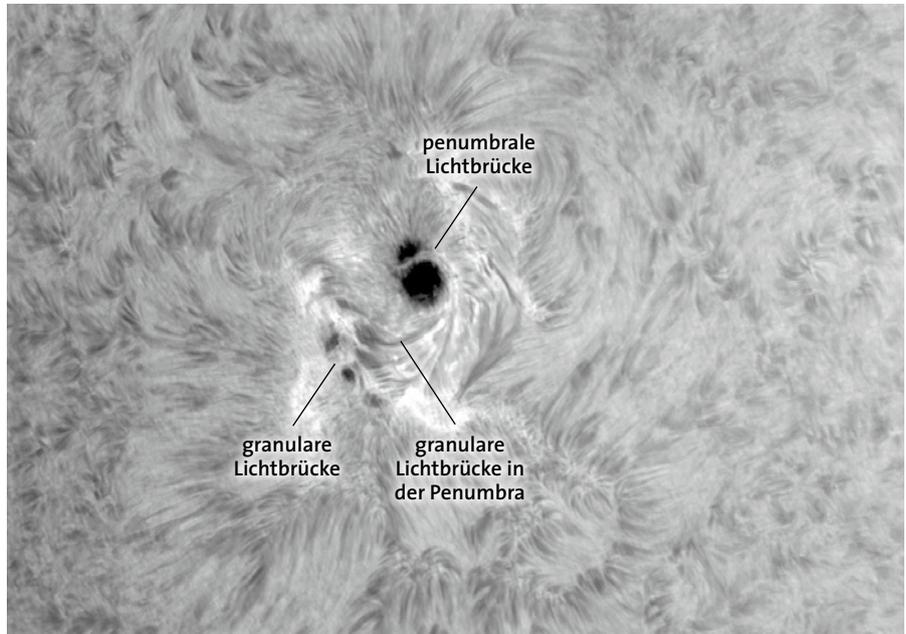
den Bildern anderer Beobachter oder von Weltraumteleskopen, beispielsweise vom Solar Dynamics Observatory (SDO) oder der Mission IRIS, viele Beobachtungsmöglichkeiten nutzen können – sogar ohne eigenes Teleskop.

Die Gruppe befindet sich derzeit im Aufbau. Sie ist offen für Hinweise zur Beobachtung und Klassifikation von Lichtbrücken sowie für Wünsche interessierter Teilnehmer. Material für Lichtbrückenbeobachter und Kontaktadressen zu Heinz Hilbrecht finden Sie unter [www.fuhrmann-hilbrecht.de/LB](http://www.fuhrmann-hilbrecht.de/LB).

Dargestellt ist das in der Amateurastronomie genutzte Klassifikationsschema für Lichtbrücken in Sonnenflecken. Dabei werden zusätzlich granulare und penumbrale Lichtbrücken unterschieden.



Die Chromosphäre oberhalb von Lichtbrücken können auch Amateurastronomen beobachten. Das Bild der aktiven Region AR12158 im H-Alpha-Licht nahm Dirk Lucius am 8. September 2014 mit einem Coronado 90 Double Stack auf. Im großen Sonnenfleck befand sich eine penumbrale Lichtbrücke. Zwischen den kleineren Umbren links unterhalb davon stand eine granulare Lichtbrücke. Zwischen beiden Gebieten entwickelte sich eine granulare Lichtbrücke in der großen Penumbra.



Dirk Lucius

(Ca II) und der H-Alpha-Linie des Wasserstoffs. Des Weiteren verraten sie sich auf Bildern des Solar Dynamics Observatory (SDO) im ultravioletten Licht bei 130 und 170 Nanometer. Typisch ist ein sehr helles und häufiges »Aufblitzen« in Gebieten, die deutlich kleiner als die Granulationszellen sind, mit Lebensdauern von Sekunden bis Minuten. Dieses Aufblitzen ist bei granularen Lichtbrücken seltener als bei penumbralen Lichtbrücken.

Typisch sind auch flammenartige Strukturen, die sich ebenfalls im Licht chromosphärischer Linien offenbaren (siehe Bilder links oben). Die »Flammen« stehen senkrecht – wie eine dichte Palisade einige tausend Kilometer hoch über der Lichtbrücke. In randnahen Fleckengruppen sind sie von der Seite her sichtbar und liefern dort ein sehr dynamisches Bild. In Videos vermitteln diese Strukturen den Eindruck, als würde die Lichtbrücke über

ihre ganze Länge hinweg regelrecht brennen. Die Flammen verändern ihre Lage und Helligkeit auf Zeitskalen von einer Stunde. Neben den vergleichsweise kleinen Flammen gibt es mitunter größere »Jets«, die sich im H-Alpha-Licht auch mit Amateurteleskopen beobachten lassen.

Gelegentlich kann es innerhalb einer Umbra zu lokalen, inselartigen Aufhellungen kommen, die ähnlich hell wie Lichtbrücken sind. In der Amateur-Klassifika-

## DER GANZE KOSMOS. AUF IHREM BILDSCHIRM.



STERNE UND  
WELTRAUM  
DIGITAL

Das Digital-Abo von *Sterne und Weltraum* kostet € 60,- pro Jahr (ermäßigt € 48,-). Abonnenten können nicht nur die aktuelle Ausgabe direkt als PDF abrufen, sondern haben auch Zugriff auf das komplette E-Paper-Heftarchiv!

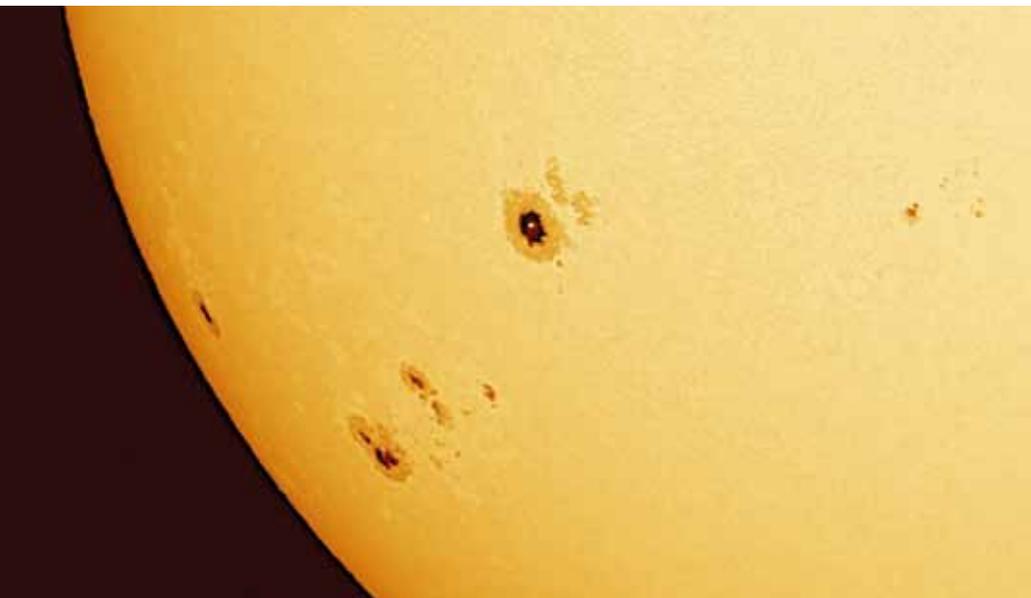
So einfach erreichen Sie uns:

**Telefon: 06221 9126-743**  
**[www.sterne-und-weltraum.de/abo](http://www.sterne-und-weltraum.de/abo)**

Fax: 06221 9126-751 | E-Mail: [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de)

Oder QR-Code  
per Smartphone  
scannen und  
Angebot sichern!





Henning Hanke, Dietrich Wanke / Amateurastronomische Vereinigung Göttingen e.V.

**Der Sonnenfleck in der aktiven Region AR 12109 zeigte in seinem Zentrum eine Lichtbrücke vom Typ n. Sie verrät sich in dieser Weißlicht-Aufnahme als heller Punkt in der Mitte des großen Flecks. Die Aufnahme gelang am 11. Juli 2014 um 18:30 Uhr MESZ mit einer Canon EOS 1100D an einem Refraktor mit vier Zoll Öffnung.**

tion ist das der Typ n (siehe Kasten S. 80). Ein Beispiel lieferte die Sonnenflecken-Gruppe in der aktiven Region AR 12109 am 11. Juli 2014, wo die Aufhellung einen Tag lang zu beobachten war (siehe Bild oben). Sie stand in Verbindung mit einer vermutlich penumbralen Lichtbrücke und einer starken Konzentration von »Umbral Dots«.

Die dunklen »Faint Light Bridges« innerhalb von Umbren lassen sich visuell durch ein Amateurteleskop nicht beobachten. Hochauflösende Fotografien zeigen sie als längliche, fadenförmige Strukturen. Fotografisch sind sie für Amateurastronomen ebenso schwierig abzubilden wie die ähnlich dunklen »Umbral Dots«. Hierin liegt eine Herausforderung für ambitionierte Sonnenfotografen, die bei erstklassigen Luftbedingungen ihre Chancen nutzen möchten. Für die Astrophysiker ist diese Art von Lichtbrücken besonders interessant, weil sie Spuren von Konvektionsströmungen in der Umbra zeigen, die durch die dort herrschenden starken Magnetfelder normalerweise zu einem großen Teil unterdrückt werden.

### Ein tieferer Blick in die Sonne

Lichtbrücken eröffnen der Astrophysik einen Zugang zu den ansonsten unsichtbaren, tiefen Schichten der Photosphäre – eine Folge der niedrigeren Temperatur

und Gasdichte im umgebenden Sonnenfleck, was einen ungehinderten Blick auf die Wände von Lichtbrücken ermöglicht. Dies und die hohe Aktivität der darüber liegenden Chromosphäre machen das Phänomen zu einem spannenden Beobachtungsziel – nicht nur für Wissenschaftler. Amateurastronomen erhalten durch das Studium von Lichtbrücken einen Zugang zur kurz- und langfristigen Dynamik von Sonnenflecken, der ihnen vielschichtige und häufig überraschende Beobachtungen auf unserem Tagesgestirn ermöglicht.



**HEINZ HILBRECHT** ist promovierter Geologe und Paläontologe, arbeitet als Journalist und widmet sich als Amateurastronom seit 1977 den solaren Lichtbrücken.



**ANDREAS LAGG** ist promovierter Physiker und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung in Göttingen. Sein Fachgebiet ist die Analyse spektropolarimetrischer Beobachtungen, gewonnen mit bodengebundenen und weltraumbasierenden Sonnentelestroskopen.

### Literaturhinweise

**Bharti, L. et al.:** Detection of Opposite Polarities in a Sunspot Light Bridge: Evidence of Low-Altitude Magnetic Reconnection. In: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 376, S. 1291–1295, 2007

**Denker, C. et al.:** Das Sonnenteleroskop GREGOR. In: Sterne und Weltraum 7/2012, S. 46–53

**Hilbrecht, H.:** Lichtbrücken. In: Reinsch, K. et al. (Hg.): Die Sonne beobachten. Verlag Sterne und Weltraum, Heidelberg 1999

**Hirzberger, J. et al.:** Fine Structure and Dynamics in a Light Bridge Inside a Solar Pore. In: Astronomy & Astrophysics 383, S. 275–282, 2002

**Lagg, A. et al.:** Vigorous Convection in a Sunspot Granular Light Bridge. In: Astronomy & Astrophysics 568, A60, S. 1–9, 2014

**Lites, B. W. et al.:** Three-dimensional Structure of the Active Region Photosphere as Revealed by High Angular Resolution. In: Solar Physics, 221, S. 65–84, 2004

**Louis, R. E. et al.:** Analysis of a Fragmenting Sunspot Using Hinode Observations. In: The Astrophysical Journal 755, 16, S. 1–14, 2012

**Rezae, R. et al.:** The Formation of Sunspot Penumbra – Magnetic Field Properties. In: Astronomy & Astrophysics 537, A19, S. 1–14, 2012

**Shimizu, T. et al.:** Hinode Observations of the Magnetic Fields in a Sunspot Light Bridge Accompanied by Long-lasting Chromospheric Plasma Ejections. In: The Astrophysical Journal Letters 696, S. 66–69, May 1, 2009

**Witt, V.:** Bei den Sonnentürmen auf der Vulkaninsel. Das Observatorio del Teide auf Teneriffa. In: Sterne und Weltraum 5/2015, S. 74–81

Dieser Artikel und Weblinks:

[www.sterne-und-weltraum.de/artikel/1351456](http://www.sterne-und-weltraum.de/artikel/1351456)

# JETZT BESTELLEN: DAS STERNE-UND-WELTRAUM-ABO

mit exklusiven Extras



JEDEN MONAT DIE AKTUELLESTEN  
NACHRICHTEN AUS ASTRONOMIE  
UND RAUMFAHRT

WÄHLEN  
SIE IHR  
**GESCHENK!**

## 1. Füllhalter »pur« von Lamy

Der elegante Füllhalter »pur« aus dem Hause Lamy mit Stahlfeder und Etui ist garantiert auch auf Ihrem Schreibtisch ein Blickfang.



## 2. SuW-Jahrgangs-CD-ROM 2014

Auf der CD-ROM von **Sterne und Weltraum** finden Sie den kompletten Jahrgang mit sämtlichen Bildern, den Kalender für Sternfreunde 2014 sowie alle Jahresinhaltsverzeichnisse von 1962 bis 2014.

### + ERSPARNIS:

12 x im Jahr **Sterne und Weltraum** für nur € 89,-  
(ermäßigt auf Nachweis € 67,80)  
10 % günstiger und portofrei ins Haus  
Weitere Vergünstigungen unter:  
[www.sterne-und-weltraum.de/aboplus](http://www.sterne-und-weltraum.de/aboplus)

### + WUNSCHGESCHENK:

Wählen Sie Ihren persönlichen Favoriten.  
Auch wenn Sie ein Abo verschenken möchten,  
erhalten Sie das Präsent.

### + PÜNKTLICHE LIEFERUNG:

Sie erhalten die Hefte noch vor dem Erscheinen  
im Handel.

### + KEINE MINDESTLAUFZEIT:

Sie können das Abonnement jederzeit kündigen.

So einfach erreichen Sie uns:

**Telefon: 06221 9126-743**

**[www.sterne-und-weltraum.de/abo](http://www.sterne-und-weltraum.de/abo)**

Fax: 06221 9126-751 | E-Mail: [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de)



Oder QR-Code  
per Smartphone  
scannen und  
Angebot sichern!