

Der Sonne auf der Spur

Mit Hilfe eines neuartigen **Sonnen-
teleskops** haben Astronomen bislang
unbekannte Eigenschaften der
Sonnenoberfläche entdeckt.

► Die Sonne nimmt als unser Zentralgestirn eine Sonderstellung in der Astronomie ein. Kein anderer Stern ist uns so nah wie sie. Kein anderer Himmelskörper erscheint uns so hell und so heiß. Deshalb werden für die Erforschung der Sonne spezielle Sonnentelkope konstruiert, die sich von anderen Teleskopen grundlegend unterscheiden. Das derzeit leistungsfähigste ist das 1-Meter-Sonnen-teleskop (Swedish 1-m Solar Telescope, SST) auf der Kanareninsel La Palma, das seit 2002 vom Institut für Sonnenphysik der königlich schwedischen Akademie der Wissenschaften betrieben wird. Mit ihm gelang es erstmals, auf der Sonnenoberfläche Strukturen von nur 75 Kilometern Größe zu erkennen.

Sonnenflecken mit faszinierenden Details

Sonnenflecken markieren dunklere und kühlere Zonen auf der Sonnenoberfläche. Sie treten vor allem in Zeiten hoher Sonnenaktivität auf und erreichen dabei den

Durchmesser von Planeten. Das Zentrum eines Sonnenflecks, die so genannte Umbra ist von einem helleren Saum, der Penumbra umgeben. Die Penumbra besteht aus langen Filamenten, die sich wie Haare um das Zentrum legen. Mit Hilfe des schwedischen Sonnentelkops wurde nun zum ersten Mal entdeckt, dass zahlreiche dieser Filamente innen einen dunklen Kern haben. Laut Professor Göran Scharmer, Leiter des Instituts für Sonnenphysik, sind die Kerne zwischen 150 und 180 Kilometer breit und gehen möglicherweise auf magnetische Flussröhren zurück, die heißes Plasma transportieren. Ihre genaue Bedeutung ist den Wissenschaftlern allerdings noch unklar.

Berge mit mehreren Hundert Kilometern Höhe

Ebenfalls spektakuläre Fotos wurden von Gebieten am „Sonnenrand“ unter einem schrägen Winkel aufgenommen. Aufgrund des flacheren Sichtwinkels auf die Sonnenoberfläche können dort Objekte aus einer anderen Perspektive betrachtet werden. Die Aufnahmen zeigen erstmals die dreidimensionale Struktur der Sonnenoberfläche: Berge und Täler aus heißem Plasma mit bis zu 450 Kilometern Höhenunterschied. Die Sonnenflecken erscheinen als dunkle, von Bergen umrahmte Vertiefungen – früher sah man sie immer nur als dunklere Zonen, von denen man nicht wusste, ob sie flach, tief oder hoch

sind. Außerdem sind zahlreiche helle „Sonnenfackeln“ zu sehen, die über die Sonnenoberfläche hinausragen. Diese Sonnenfackeln sind heißer als ihre Umgebung und strahlen deshalb besonders viel Energie ab.

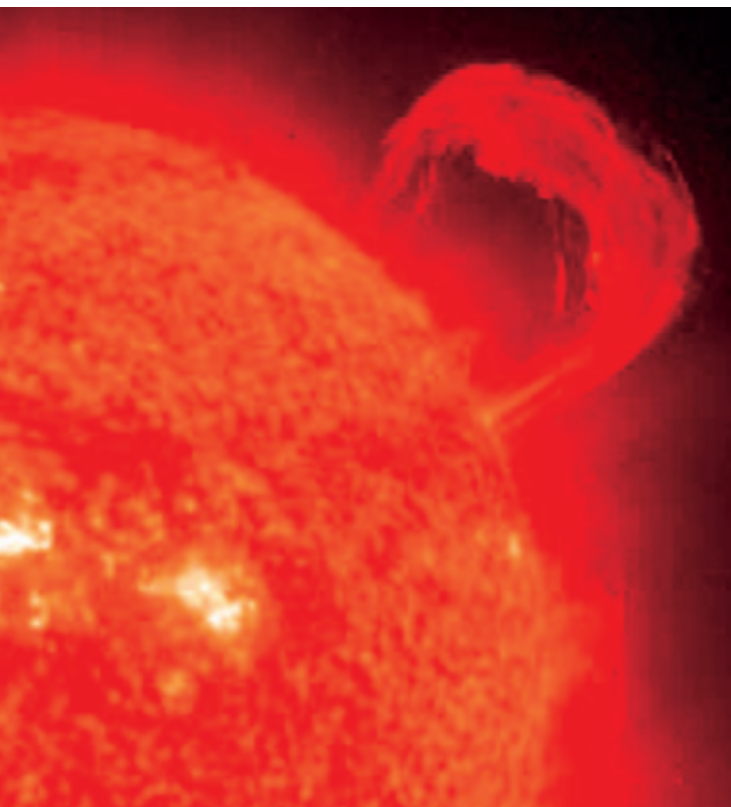
Besonderheiten des Teleskopaufbaus

Die vielen neuen Erkenntnisse überraschen um so mehr, wenn man bedenkt, dass das schwedische Sonnenteloskop gar nicht das größte ist. Es hat jedoch ein sehr ausgeklügeltes Design mit einer adaptiven Optik und liefert deshalb schärfere und detailreichere Bilder als alle bisherigen Sonnentelkope.

Mit der adaptiven Optik wird das von den Dichteunterschieden der Erdatmosphäre verursachte Flimmern des Bildes durch gezieltes „Verbiegen“ eines Spiegels korrigiert. Dieses Prinzip ist bei großen, modernen „Nachtteleskopen“ schon weit verbreitet, nicht jedoch bei Sonnentelkopen. Der Grund dafür ist, dass man bei einem Sonnenteloskop keine anderen Sterne als Referenzpunkte nutzen kann – man muss sich vielmehr mit feinen Strukturen auf der Sonnenoberfläche behelfen, was einen viel größeren Rechenaufwand bedeutet. Das schwedische Sonnenteloskop ist nun das erste, das von vornherein mit einer adaptiven Optik konzipiert wurde: Sein deformierbarer Spiegel korrigiert das Bild 1.000 Mal in der Sekunde.

Ein weiterer, grundlegender Unterschied zwischen „Nachtteleskopen“ und Sonnentelkopen besteht darin, dass letztere nicht nur unter dem Einfluss der Erdatmosphäre,

Immer noch voller Geheimnisse:
Die Sonne als Objekt jahrtausende-
langer Beobachtung und Forschung.



Das schwedische 1-Meter-Sonnenteleskop auf der Kanareninsel La Palma.

Die Quelle allen Lebens

Die Sonne ist unser nächster Stern. Ihre Entfernung zur Erde beträgt rund 150 Millionen Kilometer. Obwohl sie als Quelle allen Lebens gilt, ist sie nur ein durchschnittlich großer Stern unter Milliarden anderen.

Sterne wie die Sonne sind Gaskugeln im hydrostatischen Gleichgewicht, das heißt, ihre Gravitation und der nach innen zunehmende Druck halten sich die Waage. Im Zentrum sind Temperatur und Dichte so hoch, dass es zur Kernfusion kommt. Bei diesem Prozess werden Wasserstoffatome zu Helium verschmolzen. Die dabei frei werdende Energie dringt langsam an die Sonnenoberfläche und wird von dort in den Weltraum abgestrahlt.

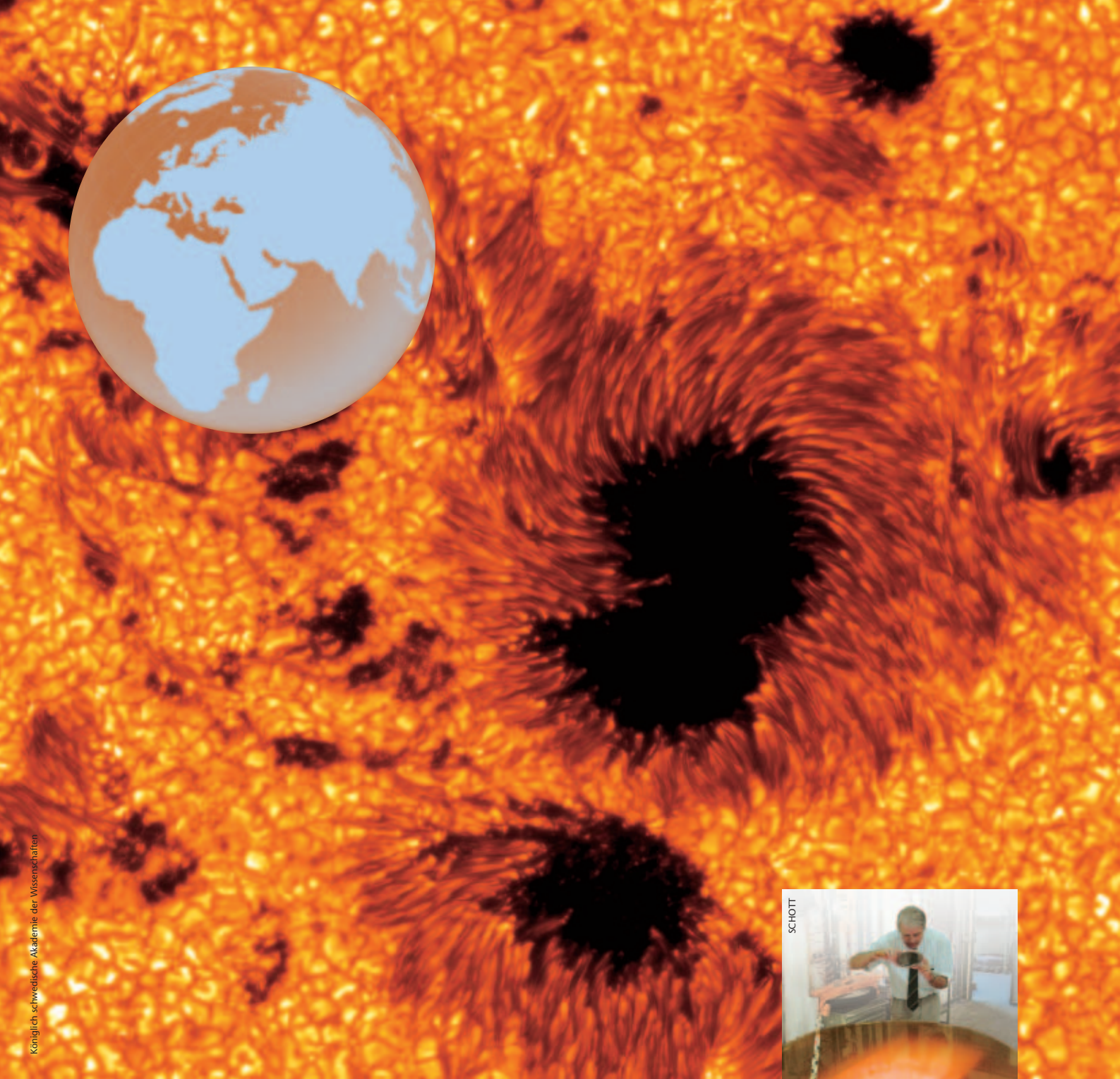
Stellenweise behindern Sonnenflecken diesen Energietransport aufgrund ihres starken Magnetfelds. Deshalb sind sie kühler und dunkler als ihre Umgebung. Die Häufigkeit der Sonnenflecken und damit auch die Sonnenaktivität schwanken in einem etwa 11-jährigen Zyklus.

Die Sonne in Zahlen

Alter: 4,6 Mrd. Jahre
 Durchmesser: 1.392.000 km
 Masse: 2×10^{30} kg

Temperatur:
 an der Oberfläche: 5.750 K
 in Sonnenflecken: 4.000 K
 im Zentrum: 15 Mio. K

Chemische Zusammensetzung:
 Oberfläche: 73 % Wasserstoff,
 25 % Helium, 2 % andere Elemente
 Zentrum: 35 % Wasserstoff,
 63 % Helium, 2 % andere Elemente



Mit dem neuen Teleskop soll unter anderem die Bedeutung der dunklen Kerne der Sonnenflecken geklärt werden.

sondern auch unter der Sonnenhitze leiden: Sowohl die Optik als auch die Luft innerhalb des Teleskops heizen sich stark auf. Für die Optik löst man dieses Problem mit Hilfe von Materialien, die eine sehr geringe Wärmeausdehnung haben, beispielsweise werden Linsen aus Quarzglas und Spiegel aus „Zerodur“ gefertigt. Die aufgeheizte Luft, die das Bild so verschwimmen lässt, wie man es manchmal auch über heißem As-

phalt beobachten kann, wird durch Evakuieren des Teleskops vermieden – man spricht dann auch von einem Vakuumteleskop. Beim schwedischen Sonnenteleskop SST ist das Ganze besonders pfiffig gelöst: Anstelle des sonst üblichen, flachen Vakuumfensters übernimmt eine 1-Meter-Linse aus Quarzglas diese Funktion gleich mit – und spart so eine optische Komponente ein. Zusammen mit zwei ebenen 1,4-Meter-Umlenkspiegeln



Für das primäre optische System des Sonnenteleskops fertigte SCHOTT zwei ebene Umlenkspiegel aus „Zerodur“ Glaskeramik mit einem Durchmesser von 1,4 Meter.

SST: Sonnenflecken im Visier

aus „Zerodur“ Glaskeramik bildet die 1-Meter-Linse das primäre optische System. Es ist als Ganzes beweglich, um die Sonne auf ihrer Bahn am Himmel zu verfolgen. Wie eine Art Arm ragt es über dem 17 Meter hohen Turm hinaus, in dem sich die anderen optischen Komponenten sowie die Detektoren befinden.

Zukünftige Projekte

Momentan ist das schwedische Sonnenteloskop das größte Europas und nach dem McMath-Pierce-Teleskop in Arizona das zweitgrößte der Welt. Es sind jedoch schon drei neue Projekte in Planung, beziehungsweise im Bau: Auf Teneriffa soll bereits im Jahr 2004 das 1,5-Meter-Sonnenteleskop GREGOR des Kiepenheuer-Instituts für Sonnenphysik (KIS) in Freiburg in Betrieb gehen. Für das Big Bear Solar Observatory (BBSO) in Kalifornien soll bis zum Jahre 2006 ein Sonnenteloskop mit einem 1,7-Meter-Spiegel aus „Zerodur“ gebaut werden; der Spiegelträgerrohling dafür wurde bereits von SCHOTT ausgeliefert. Und über ein 4-Meter-Teleskop (ATST = Advanced Technology Solar Telescope), das den Grundstein für die nächste Generation von Sonnentelopen legen soll, wird gerade nachgedacht. Sie alle können aufgrund ihrer Größe nicht mehr als Vakuumteleskope ausgelegt werden, ihre Konzepte sehen offene Spiegel-Systeme mit Spezialkühlung vor. ◀

www.solarphysics.kva.se

www.schott.com/optics_devices

Die königlich schwedische Akademie der Wissenschaften ist wegen der Vergabe des Nobelpreises weltweit bekannt. Zu ihr gehören aber auch sieben wissenschaftliche Institute, darunter das für Sonnenphysik. Der Institutsleiter, Professor Göran Scharmer, hat das optische und mechanische Design des schwedischen Sonnentelops entworfen und war maßgeblich an der Entwicklung der adaptiven Optik beteiligt.

Herr Professor Scharmer, warum betreibt Schweden ein Sonnenteloskop auf La Palma?

Prof. Scharmer: Das ist eine längere Geschichte. Bereits in den 50er Jahren hatte Schweden ein Sonnenteloskop auf Capri, Italien. Etwa 1970 wurde dann – zusammen mit britischen und spanischen Astronomen – ein Platz mit besseren Konditionen gesucht. Das Ergebnis war La Palma, das ist einer der besten Standorte für Sonnentelkope überhaupt. Das schwedische Observatorium zog also von Capri nach La Palma, und schon in den 80ern wurde dort ein 0,5-Meter-Teleskop gebaut, der Vorgänger des jetzigen 1-Meter-Teleskops. Die Planung des neuen 1-Meter-Teleskops begann 1995, als klar war, dass eine adaptive Optik für ein Sonnenteloskop realisierbar ist.

Das schwedische 1-Meter-Teleskop liefert derzeit die weltweit besten Bilder. Wer darf es denn für Forschungen benutzen?

Prof. Scharmer: Da es ein schwedisches Teleskop ist, wird es natürlich vor allem von Astronomen des schwedischen Instituts für Solarphysik genutzt. Wir haben jedoch zwei Partner: das Institut für Astrophysik in Oslo, Norwegen und die US-Firma Lockheed Martin. Beide haben sich mit jeweils 10% an den Kosten beteiligt und bekommen nun auch 10% der Beobachtungszeit. Außerdem gab es noch einen Zuschuss von der EU, so dass ein kleiner Teil der Beobachtungszeit an europäische Astronomen geht.

Welche Untersuchungen planen Sie nun als nächstes?

Prof. Scharmer: Wir wollen das Magnetfeld der Sonne weiter untersuchen, insbesondere die Sonnenflecken. Es gibt da noch viele ungeklärte Fragen, beispielsweise: Was haben die dunklen Kerne in den Filamenten genau zu bedeuten?

Können Sie aus Ihren Erkenntnissen Schlüsse auf die Auswirkungen auf das Erdklima ziehen?

Prof. Scharmer: Bis jetzt noch nicht wirklich. Vielleicht in 10 bis 20 Jahren. ◀

Königlich schwedische Akademie der Wissenschaften



Der schwedische Sonnenforscher Professor Göran Scharmer auf der Plattform des 17 Meter hohen Teleskopturms.