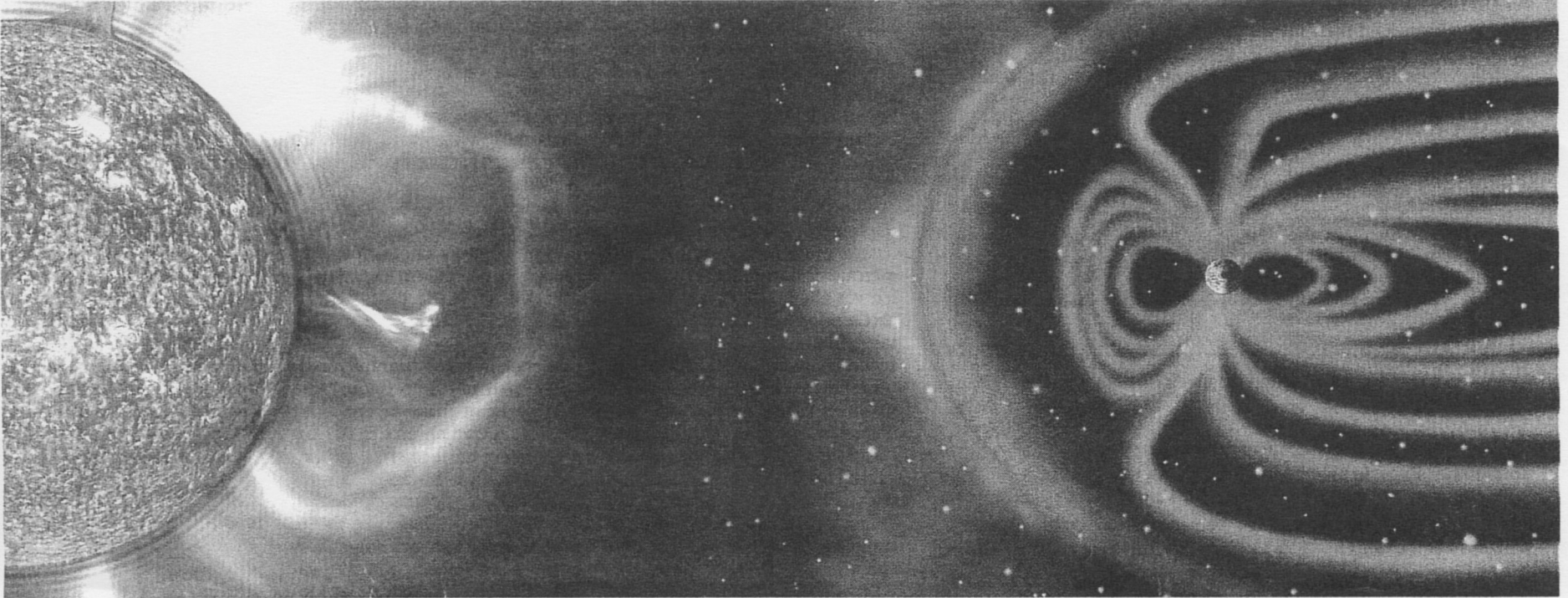


# Frankfurter Rundschau

UNABHÄNGIGE TAGESZEITUNG

Dienstag, 10. Juli 2007 | 63. Jahrgang | Nr. 157 | S | D 2987 | 1,40 Euro



**GEWALTIGE MAGNETSTÜRME** Die Eruptionen der Sonne sind eine ständige Gefahr. Nordlichter zucken selbst in niedrigen Breiten über den Himmel, Satelliten fallen aus, Funkverkehr und GPS-Empfang werden gestört, zu-

weilen bricht sogar großflächig das Stromnetz zusammen. Bislang ist es unmöglich, die Sonnen-Explosionen vorherzusagen, doch mit dem neuen US-japanischen Satelliten Hinode könnte sich das bald ändern. Mit ihm soll sich die zu-

verlässige Vorhersage des Weltraumwetters auf wenige Stunden verbessern. Das ist vor allem auch deshalb wichtig, weil sich das schützende Magnetfeld der Erde (blaue Linien) langsam abschwächt. Seiten 12 und 13

ESA / NASA



Geheimnisvolles Zentralgestirn Mit neuen Methoden und feineren Messgeräten dringen die Forscher immer weiter ins Herz der Sonne vor

Von Ute Kehse

Das Herz der Sonne liegt mehr als eine halbe Million Kilometer unter ihrer turbulenten, gleißend hellen Oberfläche. In ihrem Kern, einer Kugel mit einem Durchmesser von knapp 300 000 Kilometern, verschmelzen in jeder Sekunde mehrere hundert Millionen Tonnen Wasserstoff zu Helium. Ein genauer Blick in dieses Kraftwerk schien lange unmöglich. Heiße Gasmassen in den oberen Schichten der Sonne versperrten die Sicht. Nun aber hat ein Forscherteam um Rafael Garcia von der französischen Atomenergiebehörde CEA in Gif-sur Yvette erstmals schwache, noch verwischte Signale aus dem tiefsten Inneren der Sonne aufgefangen.

Der Blick in die Tiefe der Sonne ist der jüngste Coup der Helioseismologie

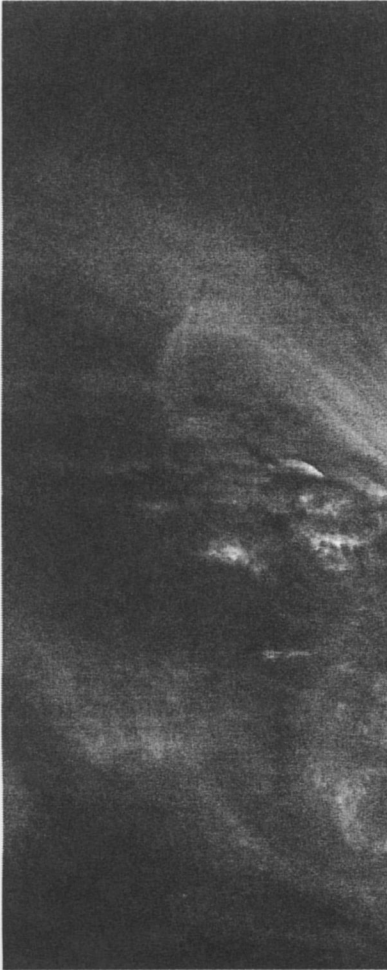
Das vorläufige Ergebnis: Der Sonnenkern dreht sich alle fünf bis neun Tage einmal um die eigene Achse. Anscheinend ist er also viel schneller als die darüber liegende Schicht, die so genannte Strahlungszone, die 27 Tage für eine Drehung braucht. Die überraschend schnelle Rotation des Kerns könnte ein Erbe aus der Jugend des Sterns sein, spekulierten Garcia und seine Kollegen kürzlich in der Zeitschrift Science.

Der Blick ins Herz der Sonne ist der jüngste Coup der Helioseismologie – eines Forschungsgebiet, das seit 30 Jahren ein Geheimnis der Sonne nach dem anderen aufklärt. Helioseismologen bestimmen Dichte und Temperatur im gesamten Sonneninneren, ermittelten den Anteil des Elementes Helium und errechneten, wie tief turbulente Gasströme unter die Oberfläche vordringen. Außerdem zeigten sie, dass gängige Modelle der Elementarteilchenphysik nicht stimmen konnten.

Die Helioseismologie ist die Wissenschaft der Wellen, die die Sonne durchlaufen. Zwar bestehen Ähnlichkeiten mit der Lehre der irdischen Erdbebenwellen. Doch zwischen Geo- und Helioseismologie gebe es einen grundlegenden Unterschied, berichtet Laurent Gizon vom Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung in Katlenburg-Lindau: „Die Wellen der Sonne sind immer da – und überall.“ Auslöser der solaren Schwingungen sind turbulente Gasbewegungen in der äußersten Sonnenschicht, der Konvektionszone. Sie lassen die ganze Sonne vibrieren wie ein Musikinstrument, dessen Töne ständig und gleichzeitig erklingen. Tausende von Wellen unterschiedlicher Frequenz schaukeln sich zu einer Oberflächenvibration auf.

Das pulsierende Auf und Ab können Helioseismologen am Sonnenlicht abmessen. Entfernt sich ein Punkt auf der Sonnenoberfläche von der Erde, so verschiebt sich die Wellenlänge des von dort ausgesandten Lichts ein wenig in den roten Bereich. Im umgekehrten Fall wird das Licht blauer.

Seit Mitte der 1990er Jahre beobachten die Helioseismologen die Sonne sowohl vom All als auch von der Erde aus: Sechs Teleskope sind



auf verschiedenen Längengraden der Erde postiert. Und im All kreist Sonnensatellit Soho. Da die Messdaten eine Überlagerung tausender Schwingungszustände sind, kostet es die enormen Rechenaufwand, die Einzelschwingungen herauszusuchen. Jede Vibration verrät etwas über die Eigenschaften der Sonne in einer anderen Tiefe. Diese Methode der „globalen Helioseismologie“ lieferte Temperatur und Dichte von der Oberfläche der Sonne bis zum Mittelpunkt.

Inzwischen machen sich Sonnenforscher an eine noch ehrgeizigere Aufgabe: Mit Hilfe von feinsten Misstönen im Schwingungsgewirr wollen sie den Stern quasi komplett durchleuchten. Für den 3D-Blick ins Innere gehen die Helioseismologen ähnlich vor wie Mediziner, die eine Computertomographie erstellen. Da die Wellen der Sonne allerdings keinen Anfang und kein Ende haben, müssen längere Schwingungsmuster von unterschiedlichen Stellen der Oberfläche verglichen werden. In diesen sucht der Computer nach Abschnitten, die sich ähneln. Nach zahlreichen Rechenoperationen erhalten die Forscher schließlich ein Bild des Raumes, den die Wellen durchlaufen haben.

Die Methode steckt in den Kinderschuhen. Forscher sind sicher: Das Beste kommt noch

Mit Hilfe dieser so genannten lokalen Helioseismologie gelang es den Forschern um Gizon bereits, auf- und absteigende Gasströmungen sichtbar zu machen und die innere Struktur der dunklen Sonnenflecken zu erkunden. Sogar Flecken auf der Rückseite der Sonne ließen sich aufspüren. Noch steckt die Methode in den Kinderschuhen, aber Sonnenforscher Gi-



# Die singende Sonne

Wie ein Musikinstrument vibriert der Stern und verrät durch die Schwingungen viel über sein Inneres

Auf der Oberfläche der Sonne ist immer etwas los. Forschern ist das nicht genug: Sie wollen wissen, was darunter ist. NASA

## Vorhersage des Wetters im All

Moderne Observatorien liefern spannende Daten

Von Ute Kehse

Seit kurzem lieferten zwei neue Sonnenobservatorien faszinierende Bilder vom Zentralgestirn. Der Sonnensatellit Hinode, ein amerikanisch-japanisches Gemeinschaftsprojekt, zeigt erstmals in aller Deutlichkeit, wie sich feurige Gasbögen durch die Sonnenatmosphäre winden und schließlich in gewaltigen Eruptionen explodieren. Die spektakulären Aufnahmen, die das Weltraumteleskop seit dem Beginn der Mission im September 2006 bereits lieferte, haben Hinode den Spitznamen „Hubble für die Sonne“ eingebracht.

Die größte Stärke von Hinode besteht aber darin, das Magnetfeld der Sonne mit hoher Präzision zu vermessen. Das Feld ist die eigentliche Ursache der heftigen Ausbrüche auf der Sonnenoberfläche, bei denen gewaltige Blasen geladener Teilchen in den Weltraum geschleudert werden. Bislang ist es unmöglich, die Explosionen vorherzusagen, doch Hinode könnte das bald ändern.

Trifft eine solche Plasmablase auf das Magnetfeld der Erde, entsteht ein Magnetsturm: Nordlichter zucken selbst in niedrigen Breiten über den Himmel, Satelliten streiken, Funkverkehr und GPS-Empfang werden gestört, zuweilen fällt sogar großflächig der Strom aus. Angesichts der wachsenden Zahl von Satelliten in der Erdumlaufbahn wäre eine zuverlässige Vorhersage des Weltraumwetters wünschenswert.

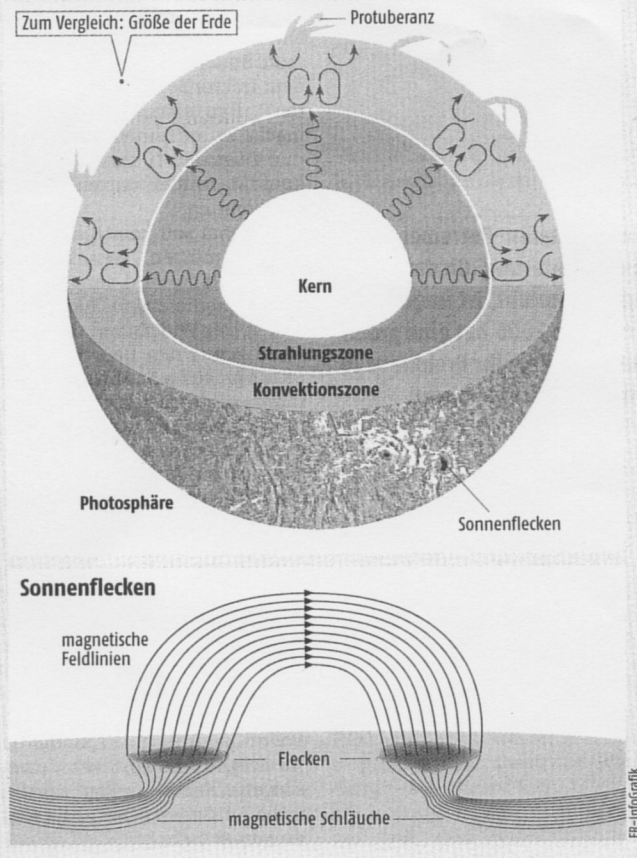
Dieses Ziel wollen die Sonnenforscher mit Hilfe des zweiten neuen Sonnenobservatoriums, des Doppelraumschiffs Stereo (Solar Terrestrial Relations Observatory) erreichen. Die fast baugleichen Stereo-Sonden befinden sich in der Nähe der Erdumlaufbahn auf eigenen Orbits um die Sonne. Eine läuft der Erde voraus, die andere folgt ihr. In den kommenden Monaten werden sie sich immer weiter voneinander entfernen. Dadurch ist erstmals ein räumlicher Blick auf die Sonne möglich.

Für die Weltraumwetter-Vorhersage ist es außerdem wichtig, dass Stereo den Weg der Teilchenwolken nicht nur in der Nähe der Sonne verfolgen kann wie das altgediente Sonnenobservatorium Soho. Da die beiden Sonden von der Seite aus auf den Raum zwischen Sonne und Erde blicken, können sie die Ausbreitung einer Eruptionsfront genau verfolgen. Die Genauigkeit bei der Vorhersage der Ankunftszeit wird von etwa einem Tag auf wenige Stunden verbessert.

### DIE SONNE IN ZAHLEN

|                                                                                                            |                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Durchmesser:</b> 1,4 Millionen Kilometer.                                                               | 150-fachen der Dichte von Wasser. Die Dichte an der Oberfläche beträgt ein Millionstel der Dichte von Wasser. |
| <b>Durchmesser des Kerns:</b> 300 000 Kilometer.                                                           |                                                                                                               |
| <b>Temperatur</b> im Zentrum der Sonne: 15,7 Millionen Grad Celsius. An der Oberfläche: 5500 Grad Celsius. | <b>Zusammensetzung:</b> 70 Prozent Wasserstoff, 28 Prozent Helium, zwei Prozent schwerere Elemente.           |
| <b>Die Dichte</b> im Kern entspricht dem                                                                   | <b>Umlaufzeit</b> an der Oberfläche: 25 Tage am Äquator, 36 Tage an den Polen.                                |

### Aufbau der Sonne



zon erwartet viel von ihr. „Das Beste kommt noch“, ist er sich sicher.

Rafael Garcia und seine Kollegen von CEA haben derweil eine Form von Wellen aufgespürt, nach denen die Helioseismologen seit 30 Jahren gesucht hatten: so genannte Schwerewellen, auch g-Moden genannt. Im Gegensatz zu akustischen Wellen, die Druckunterschiede weiterleiten, beruhen sie auf Dichtefluktuationen. G-Moden, die vor allem wegen ihrer Informationen über den Sonnenkern interessieren, sind dabei viel schwächer als akustische Wellen.

### Für genauere Aussagen müssen die Wissenschaftler noch Datenberge bearbeiten

Um sie aufzuspüren, musste das CEA-Team alle Daten bearbeiten, die das Soho-Instrument „Golf“ in zehn Jahren gesammelt hatte. „Die Ergebnisse sind sehr interessant“, kommentiert Juri Toomre von der University of Colorado in Science. Noch gebe es jedoch zu viele Unsicherheiten, um genaue Schlüsse über den Sonnenkern zu ziehen. Ein feinerer Blick ins Herz der Sonne könnte durch das Durchforsten weiterer Datenberge und neue, verbesserte Instrumente möglich werden.

Erkenntnisse verspricht auch der Vergleich mit anderen Sternen: „Die Asteroseismologie, also die Erforschung von Oszillationen fremder Sterne, tritt gerade in eine aufregende Phase ein“, berichtet Laurent Gizon. Im Dezember ging das Esa-Weltraumteleskop Corot in Betrieb, das Schwingungsmoden naher Sterne auffangen kann. Gizon: „Erstmals ist es nun möglich, Masse, Radius und Dichte einzelner Sterne direkt zu bestimmen.“