

Der Sonnenforschungssatellit TRACE erlaubt es den Astrophysikern, die Beziehungen zwischen den feinstrukturierten Magnetfeldern und den damit verbundenen Plasmastrukturen auf der Oberfläche der Sonne zu untersuchen. Dazu wird die Photosphäre, die Übergangsregion und die Korona beobachtet. Mit seinen Instrumenten können diese Schichten der Sonne in verschiedenen Wellenlängen nahezu simultan beobachtet

werden. Dabei gibt es nur geringe Zeitverzögerungen von etwa einer Sekunde für das Umschalten zwischen den verschiedenen Wellenlängen, bei einer Winkelauflösung von etwa einer Bogensekunde. Der Satellit wurde im April 1998 auf einer Pegasus-Rakete von der Vandenberg Air Base aus gestartet, um gemeinsam mit SOHO die Sonne zu beobachten.

TRACE bedeutet: Transition Region And Coronal Explorer, daß heißt übersetzt etwa „Forschungssatellit für die Übergangsregion und die Korona (der Sonne)“. Das Ziel von SOHO und TRACE ist es, unser Zentralgestirn in einer Phase des Solaren Zyklus zu untersuchen, wenn die Aktivitäten zunehmen und wieder auf ein Sonnenflecken-Maximum zusteuern. Die Beobachtungen der beiden Satelliten ergänzen sich dabei. TRACE liefert die räumlich und zeitlich hochaufgelösten Detailaufnahmen, während SOHO Bilder und Spektren für ein Gebiet von bis zu 30

Sonnenradien aufnimmt, bei wesentlich geringerer Auflösung. Mit diesen Meßdaten erwarten sich die beteiligten Wissenschaftler eine Fülle von Erkenntnissen, nicht nur über unsere Sonne, sondern auch über die stellaren Aktivitäten allgemein bis zur Magnethydrodynamik von Akkretionsscheiben junger Sterne.

Die Meßdaten von SOHO, insbesondere die Magnetogramme, liefern einen kompletten Überblick über die magnetischen Felder auf der Sonne, die unverzichtbar für das Verständnis der TRACE-Beobachtungen von koronalen Löchern und Massenaus-

würfen sind. Beide Phänomene haben großen Einfluß auf unsere kosmische Umwelt und das Erdmagnetfeld und damit auch auf die Atmosphäre und das Klima.

TRACE ist der erste US-Sonnenforschungssatellit seit der Solar Maximum Mission (SOLAR MAX). Die Koordination der Beobachtungen mit SOHO liefert eine einzigartige Gelegenheit, den magnetischen Fluß auf der Sonne von der Konvektionszone im Inneren durch die Photosphäre, Chromosphäre und die Übergangsregion bis zur Korona zu verfolgen, gemeinsam mit der zeitlich und räumlich hochaufgelösten Beobachtung der daraus folgenden Effekte, wie etwa koronaler Massenaufwürfe. Der Übergang von der Photosphäre, wo Magnetfelder und Plasma vorherrschen, zur Korona, wo Magnetfelder dominieren, ist extrem schwierig in ein Modell zu fassen und war bisher auch nicht in dieser räumlichen und zeitlichen Auflösung zu beobachten.

TRACE wurde dafür gebaut, auf einem GSFC Small Explorer (SMEX)-Raumfahrzeug mit einer Pegasus XL Trägerrakete in eine Sonnen-synchrone Umlaufbahn gebracht zu werden, um kontinuierliche Operationen für 8 Monate, basierend

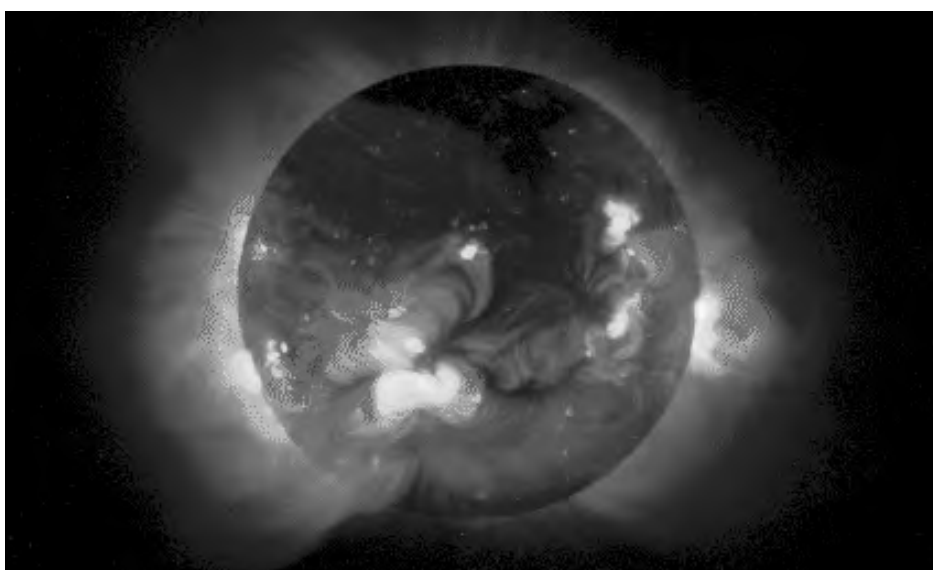


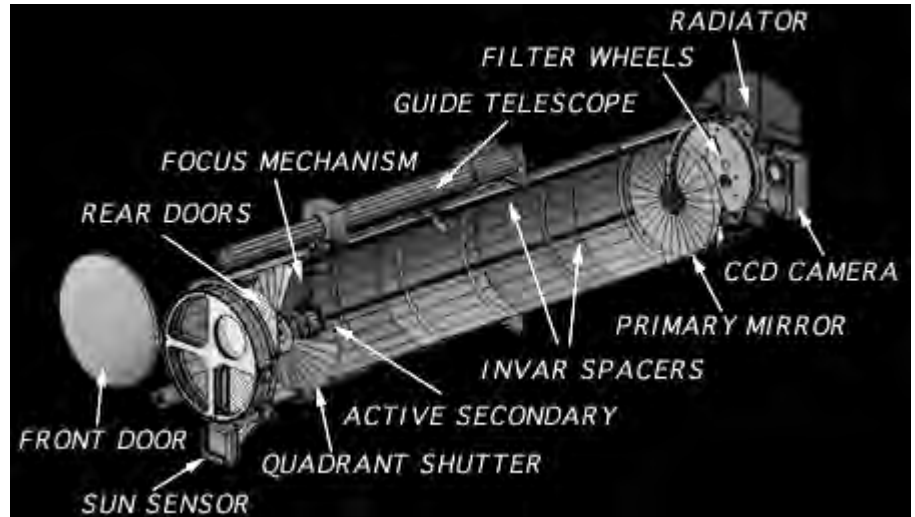
Foto: NASA/TRACE-Homepage.

auf einer 1-Jahres-Mission, zu ermöglichen. Zum ersten Mal konnte ein US-Satellit die Sonne ohne ständige Unterbrechungen bei jedem Umlauf durch den Erdschatten beobachten. Das Small Explorer-Programm hat das Ziel, Forschung auch mit kleinen und billigen Satelliten zu ermöglichen.

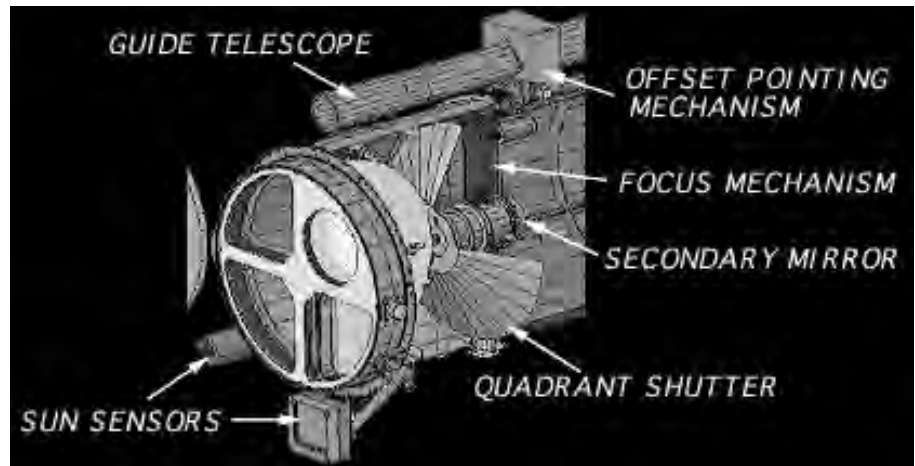
Als Hauptinstrument besitzt TRACE ein 30cm durchmessendes Teleskop für den EUV- und UV-Bereich mit einem CCD-Chip mit 1024x1024 Pixeln. Dem Instrument zugeordnet ist ein leistungsfähiger Computer, der eine sehr flexible Verwendung des CCD-Chips ermöglicht. Das gesamte Gesichtsfeld mißt 8,5 Bogenminuten im Quadrat. Mit Hilfe eines Filterrades kann das Teleskop in verschiedenen Wellenlängen beobachten. Auf dem Hauptteleskop ist ein Sucherteleskop und ein digitaler Sternsensor montiert. Zusätzlich besitzt TRACE einen Magnetometer.

Die Ergebnisse von TRACE

Eines der ältesten Rätsel bei der Erforschung unserer Sonne ist die Tatsache, daß die Korona wesentlich heißer ist als die darunter liegende sichtbare Sonnenoberfläche. Die Temperatur der Oberfläche beträgt etwa 6.000°C, während die Korona Millionen von °C erreicht. Eine mehr als 30 Jahre alte Theorie besagte, daß die sogenannten koronalen Schleifen (koronal loops) auf ihrer ganzen



Das Hauptinstrument von TRACE. Grafik: NASA/TRACE-Homepage.



Detailansicht des Hauptinstrumentes. Grafik: NASA/TRACE-Homepage.

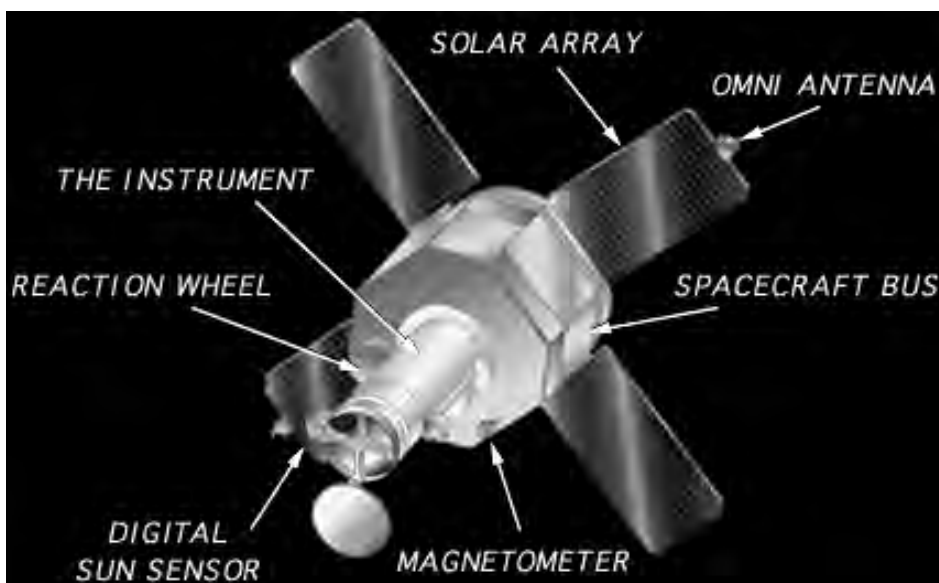
Länge erhitzt werden. Nun, aufgrund der neuesten Erkenntnisse durch die Auswertung der TRACE-Beobachtungen, zeigt sich, daß die Quelle dieser Energien in der unteren Korona liegt, nicht mehr als 16.000 Kilometer von der sichtbaren Oberfläche der

Sonne entfernt.



Die Gasfontänen formen riesige Bögen, wenn sie entlang der Magnetfeldlinien von der Sonnenoberfläche aufsteigen, mehr als 30mal so hoch wie der Erddurchmesser, bevor sie abkühlen und mit mehr als 100 Kilometer pro Sekunde zur Sonnenoberfläche zurückstürzen. Millionen von koronalen Schleifen verschiedenster Größe bilden die Korona und die TRACE-Beobachtungen zeigen, daß der größte Teil der Erhitzung an ihrer Basis stattfindet, dort, wo sie sich von der Sonne erheben und wieder zu ihr zurückfallen (Siehe Skizze). Erst die hohe Auflösung von TRACE machte diese Entdeckung möglich. Der Mechanismus der Erhitzung selbst ist aber noch ungeklärt.

EF, Quelle: NASA/TRACE-Presseinfos.



Grafik: NASA/TRACE-Homepage.

Einige Grundlagen zu den Magnetfeldern auf der Sonne

Das solare Magnetfeld verändert sich die ganze Zeit.

Tatsächlich hat es einen Zyklus, den es in 11 Jahren durchläuft. Während dieser Zeit verändert sich die Struktur des Magnetfeldes dramatisch.

Am Beginn des Zykluses verlaufen die Magnetfeldlinien direkt von Norden nach Süden zwischen den magnetischen Polen der Sonne. Diese Phase wird auch als „Solares Minimum“ bezeichnet.

Wenn die Sonne rotiert, bewegt sich die Konvektionszone am Äquator rascher als an den Polen. Unterhalb der Konvektionszone bewegt sich die Strahlungszone als kompakte Masse. Die Unterschiede zwischen diesen beiden Zonen bewirken, daß sich das Magnetfeld der Sonne am Äquator dehnt.

Wenn der solare Zyklus sich entwickelt, dehnen sich diese Linien immer weiter. Wie ein Gummiband, das zu stark eingedreht wird, bäumen sich die Magnetfeldlinien auf, bis sie die Oberfläche der Sonne durchbrechen.

Wenn das passiert, entstehen die bekannten Arten der Sonnenaktivität:

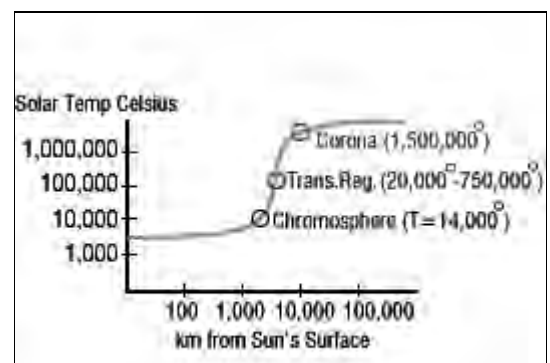
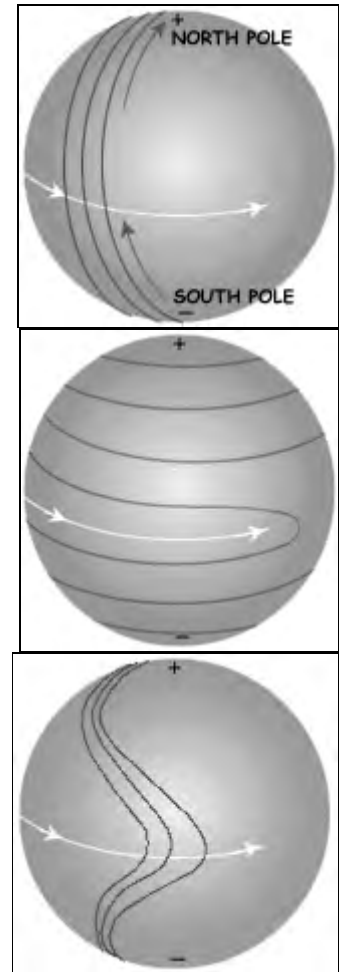
- Sonnenflecken werden gebildet
- die Korona heizt sich auf
- Solare Flares und Schleifen steigen von der Oberfläche auf

Diese Phänomene sind wie gigantische Magnetstürme, die nicht nur die Oberfläche der Sonne verändern, sondern auch große Mengen von Energie in das Sonnensystem hinausschleudern. Der Höhepunkt aller dieser Aktivitäten wird „Solar Maximum“ genannt. Zu dieser Zeit können auch starke Auswirkungen auf die Erde treffen, die zur Unterbrechungen der Satellitenkommunikation führen können. Auch atmosphärische Erscheinungen wie die Aurora Borealis sind auf derartige Ereignisse auf der Sonne zurückzuführen.

Nach dem Solar Maximum beruhigen sich die Magnetfelder wieder und die Aktivität der Sonne geht wieder zurück. Das letzte Minimum fand Mitte der 90er-Jahre statt, das aktuelle Maximum begann um das Jahr 2000.

Diese Grafik zeigt die Temperaturverteilung auf der Sonne. Dabei zeigt sich, daß die Temperatur dramatisch in der Übergangszone (Transition Region) ansteigt. Die Oberfläche der Sonne hat nur 5.000 Grad Kelvin. Aber nur 100.000 Kilometer weiter außen in der Korona springt die Temperatur auf nahezu 2 Millionen Grad Kelvin. Warum ?

Auch damit, so glauben die Wissenschaftler, hat das Magnetfeld der Sonne zu tun. Die Daten von TRACE sollen dabei helfen, diesen Temperatursprung zu erklären.

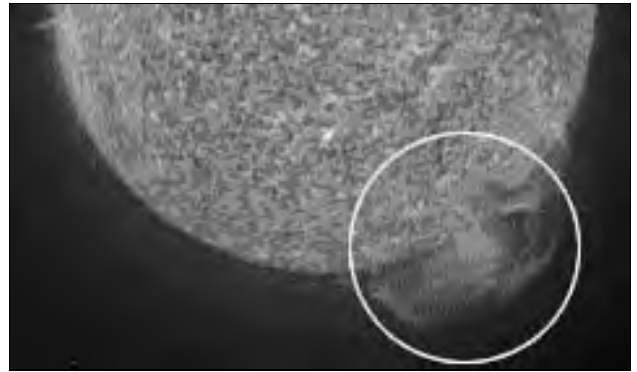


Die Untersuchungsgebiete von TRACE

Plasmaeinschluß in Magnetfeldern:

Die Sonne besteht aus heißem Plasma. Plasma ist ein Zustand der Materie, der entsteht, wenn durch extreme Temperaturen die Bindungskräfte der Atome aufgebrochen werden. In mancher Hinsicht verhält es sich so wie Gas. Aber auf der Sonne verhält es sich etwas seltsamer.

Die nebenstehende Aufnahme zeigt ein Phänomen, genannt Loop (Schleife). Loops sind gigantische Plasmabögen, die Tausende von Kilometern in den Raum hinaus reichen. Sie können Wochen oder sogar Monate bestehen bleiben. Es wird angenommen, daß große Verwerfungen im solaren Magnetfeld für derartige Phänomene verantwortlich sind, wo das Plasma innerhalb der Magnetfeldlinien eingeschlossen wird.



Grafik: NASA/TRACE-Hompage.

Plasmaheizung in der Korona:

Loops sind aber nicht die einzigen seltsamen Phänomene auf der Sonne. Eines der rätselhaftesten Phänomene ist die fast 2 Millionen Grad Celsius heiße Korona, während die darunterliegende Oberfläche nur etwa 6.000 Grad Celsius aufweist. Im Normalfall wird es immer kühler, je weiter man von einer Hitzequelle entfernt ist. Nur bei der Sonne stimmt diese Annahme nicht.

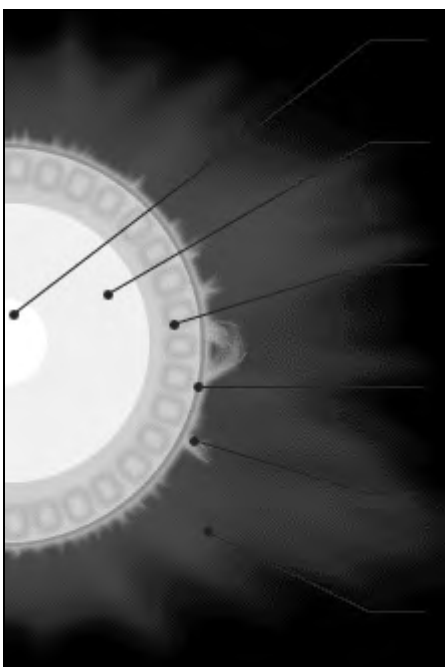
Solar Flares:

Ein solares Flare (Sonnenfackel) ist eine plötzliche Eruption von Energie auf der Oberfläche der Sonne. Obwohl sie die Helligkeit der Sonne nicht merkbar ändern, können sie Effekte auf das Leben auf der Erde haben. Ihre Dauer beträgt nur eine Minuten, aber große Flares senden große Mengen an geladenen Teilchen und Strahlung in den Raum hinaus, die etwa die Kommunikationsverbindungen auf der Erde stören können. Wissenschaftler glauben, daß auch die Flares ihre Ursache in Erscheinungen des solaren Magnetfeldes haben.



Grafik: NASA/TRACE-Hompage.

Der Aufbau der Sonne



Grafik: NASA/TRACE-Hompage.

Kern

Strahlungszone

Konvektionszone

Photosphäre

Chromosphäre

Korona

Die Sonne:

Die Sonne ist ein typischer Stern mittlerer Größe in der Halbzeit ihres etwa 10 Milliarden Jahre umfassenden Lebens. Als Stern selbst ist sie nicht besonders bemerkenswert. Aber für uns auf der Erde ist die Sonne natürlich etwas Besonderes. Sie versorgt uns mit Wärme und Licht, hilft unserer Nahrung, zu wachsen und gibt uns Tag und Nacht. Sie gibt der Erde alles, um Leben tragen und erhalten zu können.

Radius: $6,9626 \cdot 10^8 \text{m} = 109 \text{ Erdradien}$

Masse: $1,989 \cdot 10^{30} \text{kg} = 333.000 \text{ Erdmassen}$

Mittlere Dichte: $1,409 \text{ g cm}^{-3} = 0,26 \text{ Erddichte}$

Mittlere Entfernung von der Erde: 1,495 Millionen Kilometer = 1 AE (Astronomische Einheit)

Spektraltyp: G2V

Quelle: Meyers Handbuch Weltall