

Das neue Bild der Sonne

Seit 4,6 Milliarden Jahren
scheint die Sonne, aber erst
seit kurzem lernen wir
ihre Wirkungsmechanismen
zu verstehen und damit
auch ihre Entstehungs-
geschichte nachzuvollziehen.

Die jeweiligen Vorstellungen über das Zentrum der Welt symbolisieren wie kaum eine andere Thematik das Erwachen des menschlichen Geistes. In der Antike war es die Erde, die es zu entdecken galt und die dem Menschen seine volle Aufmerksamkeit abverlangte, um zu überleben und naturgemäss war sie das Zentrum seines Denkens. Kopernikus im 15. Jahrhundert und andere Forscher danach zeigten, dass die Erde nur einer von neun Planeten ist, die um die Sonne kreisen und diese damit als Zentrum zu gelten hat. Später erkannte man, dass auch die Sonne nur einer von Milliarden von Sternen unserer Galaxis und diese wiederum nur eine von unzählbar vielen Galaxien ist. Mit einem überraschenden Ergebnis hat schliesslich Edwin Hubble in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts die Suche beendet, der die Expansion des Universums erkannte und damit auch, dass die Welt gar kein Zentrum hat.

Die Suche nach einem materiellen Zentrum ist ergebnislos verlaufen. Dafür steht fest, dass wir der Sonne die Energie verdanken, die im Anfang aus anorganischen Molekülen immer komplexere Bausteine des Lebens auf der Erde geformt und damit eine Evolution in Gang gebracht hat, deren vorläufiges Ergebnis der Mensch und seine belebte Umwelt ist. In diesem Sinne bleibt die Sonne eben doch Ursache und Zentrum der uns zugänglichen Welt.

Was liegt dem Wissenschaftler daher näher, als die Sonne zu erforschen und ihre Wirkungsweise zu verstehen zu suchen? Die Weltraumwissenschaften haben in den vergangenen Jahren manche Raumsonde geschaffen und damit unsere Kenntnisse auch über die Sonne ganz wesentlich erweitert. Die Sonne ist daher auch ein Schwerpunkt der Forschung am International Space Science Institute in Bern. PD Dr. Rudolf von Steiger, Senior Scientist am ISSI, hat es unternommen, das neue Bild, das wir uns heute von der Sonne machen, für unsere Mitglieder zu skizzieren und uns auf eine Reise mitzunehmen, die vom heissen Innersten der Sonne über ihre Korona bis zu dem auf der Erde beobachtbaren Licht führt.

Hansjörg Schlaepfer
Bern, im November 1998

Inhalt

Das neue Bild der Sonne	3
Annual Report by the President of the ISSI Foundation	18

Impressum

SPATIUM
Publikationsorgan des
Vereins Pro ISSI
Erscheint ein- bis zweimal jährlich



Verein Pro ISSI
Hallerstrasse 6, 3012 Bern
Telefon 031 631 48 96
Fax 031 631 48 97

Präsident

Prof. Hermann Debrunner,
Universität Bern

Herausgeber / Quästor

Dr. Hansjörg Schlaepfer, Contraves
Space, Zürich

Redaktion dieses Beitrags

Peter Abgottspon, Thun

Graphik

Gian-Reto Roth, Contraves Space,
Zürich

Druck

Drucklade AG, 8008 Zürich

Titelbild:

Heisse Plasmaströme entweichen aus der Sonne in den Weltraum. Aufnahme: Extreme Ultraviolet Imaging Teleskop des Solar Heliospheric Observatories (ESA/NASA).

Das neue Bild der Sonne

*Rudolf von Steiger, International Space Science Institute, Bern
(Vortrag für den Verein Pro ISSI am 1. April 1998)*

Die Sonne im Zentrum

Seit urdenklichen Zeiten schon ist die Sonne Gegenstand mystischer Verehrung und religiösen Kultes. Auch in der Gegenwart hat die Sonne nichts von ihrer Faszination verloren. Im Gegenteil, die moderne Weltraumforschung hat deutlich gemacht, welche intensive Beziehungen zwischen unserem Zentralgestirn und den Vorgängen auf der Erde herrschen. Der Sonne war deshalb ein Workshop gewidmet, der Anfang 1998 am ISSI stattfand und über dessen Ergebnisse im folgenden berichtet werden soll.

Wesentliche Fortschritte in der Erforschung der Sonne konnten erzielt werden, seit Sonden im Weltraum zur Verfügung stehen, welche ungestört von der Atmosphäre mit verschiedensten Instrumenten unseren nächsten Stern beobachten und ihre Daten zur Erde melden. Damit können neben dem auf die Erde auftreffenden Sonnenlicht, das seit Jahrhunderten beobachtet wird, nun auch der von der Sonne in den Weltraum abgestrahlte Teilchenstrom und ihr Magnetfeld gemessen werden. Daraus lassen sich Rückschlüsse ziehen auf die Bestandteile der Sonne, die deshalb von grundlegender Bedeutung sind, weil sie – im Gegensatz etwa zu derjenigen der Planeten – die Zusammensetzung der «Ursuppe» darstellen, aus welcher sich vor 4,6 Milliarden Jahren unser Sonnensystem gebildet hat. Abweichungen von dieser Ur-

zusammensetzung, wie sie offensichtlich in den Planeten, aber auch (in wesentlich kleinerem Ausmasse) in Korona und Sonnenwind vorkommen, sind der Schlüssel zu seiner Entstehungs- und Entwicklungsgeschichte.

SOHO, Ulysses und Co.

Die beiden wichtigsten Weltraumsonden für die Sonnenforschung sind SOHO (Solar Heliospheric Observatory) und Ulysses, beides Gemeinschaftsprojekte der europäischen und der amerikanischen Weltraum-Agenturen ESA und NASA, siehe Fussnote. SOHO wurde im November 1995 gestartet und hat seither die Sonne ununterbrochen beobachtet. Es liefert uns Daten vom Sonneninnersten, der Sonnenoberfläche und -atmosphäre im ultravioletten und im sichtbaren Licht, sowie auch vom interplanetaren Raum. Ulysses ist der erste künstliche Himmelskörper, der die Ekliptik (die Ebene, in welcher die Planeten um die Sonne kreisen) verlassen hat und nun bereits seit über sieben Jahren die Sonne aus einer polaren Umlaufbahn beobachtet.

Vom Kern der Sonne bis zu den äussersten Zonen der Korona

Unsere gedankliche Reise beginnt im innersten Kern der Sonne. Doch wie ist es möglich, in den Kern der Sonne hineinzusehen? Natürlich können wir nicht einfach einen Achtel der Sonne wegschneiden, wie uns dies **Abbildung 1** (s. folgende Seite) vormacht.

Es gibt zwei Phänomene, welche uns Auskünfte über das Innere der Sonne geben. Zum ersten Modell verhelfen uns folgende Informationen: im Inneren der Sonne wird durch die Fusion von Wasserstoff Helium produziert. Der Sonnenkern ist also ein riesiger Fusionsreaktor, in welchem bei einer Temperatur von etwa 14 Millionen Grad ungeheure Energiemengen freigesetzt werden. Diese Energie bahnt sich in Form von Strahlung langsam ihren Weg an die Sonnenoberfläche. In einer bestimmten Distanz, etwa bei zwei Dritteln des Sonnenradius, manifestiert sich ein derart grosser Wärmeunterschied zwischen dem inneren und äusseren Bereich, dass der weitere Energietransport an die Oberfläche nur noch mittels Konvektion (zu vergleichen mit brodelndem Wasser, wenn es siedet) erfolgen kann. Dieser kontinuierlich ablaufende Prozess regt die ganze Sonne zu Schwingungen an.

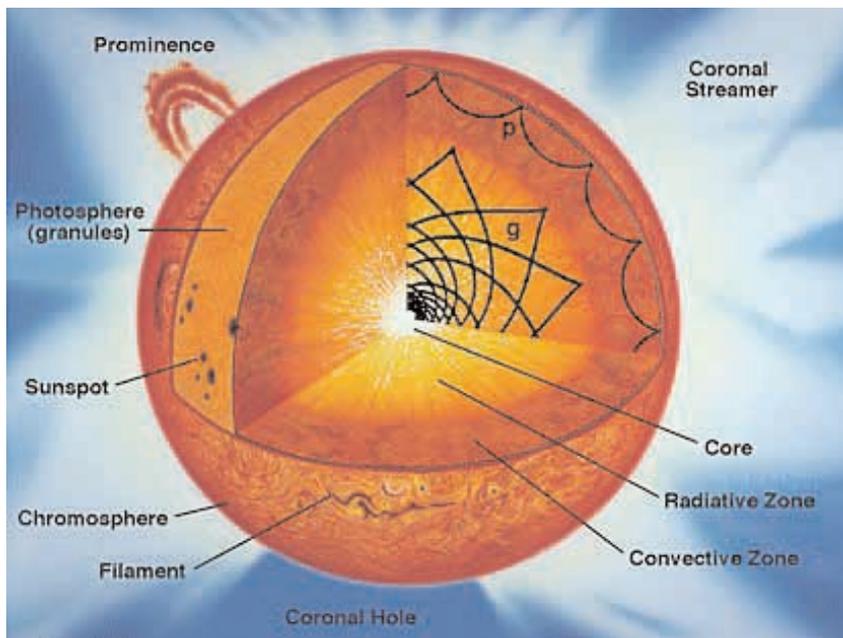


Abbildung 1: Schematischer Blick ins Innere der Sonne,

wo einzelne Wege von Schallwellen angedeutet sind. Nicht jede beliebige Welle, sondern nur ganz bestimmte Kombinationen von Wellenlänge und Frequenz bringen den Sonnenkörper in Resonanz, wobei die exakten Werte von den Bedingungen im Sonneninneren abhängen. Sonnenoszillationen liefern damit ein Fenster zum unsichtbaren Innern, zu Struktur und Zusammensetzung des Sonnenkörpers. SOHO/MDI/SOI

Die Sonne schwingt

Unser Muttergestirn verhält sich daher wie ein riesiger, dreidimensionaler Gong. Wie aber kommen diese Oszillationen zustande? Betrachten wir einen Punkt an der Sonnenoberfläche: Er wird, wie erwähnt, von der Konvektion nach oben gedrückt, fällt darauf nach unten und regt so eine Welle an. Diese pflanzt sich ins Innere der Sonne fort, trifft auf immer grössere Dichten und wird deshalb gebeugt. An einer anderen Stelle tritt sie erneut an die Oberfläche. Dort wird die Welle reflektiert und so fort: es entsteht eine in der Sonne umlaufende Welle. Weist die Welle eine bestimmte Länge auf, trifft sie nach einem Umgang genau an der glei-

chen Stelle wieder auf und überlagert sich sozusagen mit sich selbst. Die Frequenzen dieser Wellenart kann man durch Beobachten der Schwingungen an der Sonnenoberfläche feststellen. Weil hier der Druck gegenüber der Auslenkung die rückstellende Kraft ist, heisst sie Druckwelle oder p-Welle (p ist die übliche Abkürzung für Druck).

Die Sonne als dreidimensionaler Gong könnte in einem speziellen Falle etwa so aussehen wie in **Abbildung 2**: Wir sehen eine p-Welle, welche mit den drei Quantenzahlen $n = 14$, $l = 20$ und $m = 16$ beschrieben ist. Quantenzahlen heissen sie, weil sie die dreidimensionale Schwingung einer Kugel mit denselben Mitteln beschreiben, wie die

Atomhülle in der Quantenmechanik. n beschreibt die Richtung von innen nach aussen, l die azimutale Richtung und m die Richtung von Pol zu Pol. Rot sind Gebiete, die auf uns zukommen, blau solche die sich von uns weg bewegen. Auf diese Weise kann man die Schwingung der Sonnenoberfläche beobachten und deren Frequenz messen.

Würde die Sonne nur in einem einzigen der möglichen Moden schwingen, ergäbe sich ein relativ einfaches Bild: in **Abbildung 2** ist ein solcher reiner Schwingungsmodus dargestellt. In diesem Fall hat MDI eine Frequenz von $2935,88 \pm 0,2$ Mikroherz gemessen. Diese unglaubliche Genauigkeit ist nur möglich, weil sich SOHO auf dem Lagrange-Punkt L1 zwischen der Erde und der Sonne befindet und diese ohne zeitliche Unterbrechungen beobachten kann. Nun schwingt die Sonne aber nicht nur

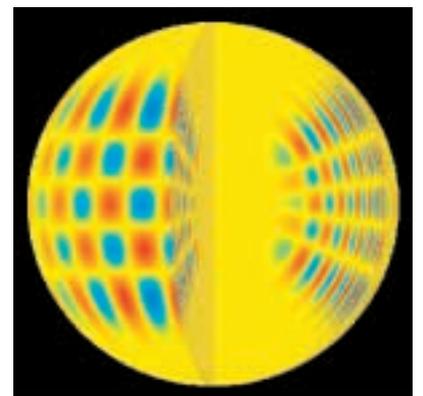


Abbildung 2: Computersimulation

einer reinen Sonnenoszillation (p-Welle) der radialen Ordnung $n = 14$, azimutalem Grad $l = 20$, und polarer Ordnung $m = 16$. Rote und blaue Bereiche bedeuten Verschiebungen mit unterschiedlichem Vorzeichen. Die Frequenz dieses Schwingungsmodus, bestimmt durch MDI, beträgt $2935,88 \pm 0,2$ Mikroherz. SOHO/MDI/SOI

in einem einzigen, sondern in sehr vielen der möglichen Schwingungsmoden gleichzeitig. Die Situation entspricht etwa einer angezupften Gitarrensaite, bei welcher Grund- und Obertöne gleichzeitig mitschwingen. Dies allerdings mit dem Unterschied, dass die Sonne als dreidimensionaler Gong über sehr viel mehr Schwingungsmoden verfügt als die eindimensionale Saite. Wenn MDI die Sonnenoberfläche beobachtet, sieht es also sämtliche Moden gleichzeitig. Daraus entstehen Bilder wie das Full-Disk Dopplergramm in **Abbildung 3**.

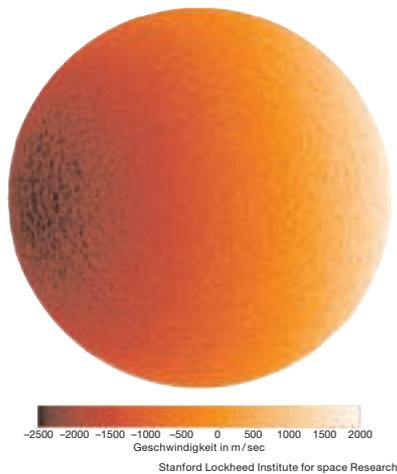


Abbildung 3: Dopplergramm der schwingenden Sonnenoberfläche. Die Schwingungen der Sonne werden durch ihre Konvektion angeregt. Anders als in Abb. 2 sind alle Schwingungsmoden gleichzeitig aktiv, was zu einer komplizierten, rasch veränderlichen Oberflächenstruktur führt.

SOHO/MDI/SOI

Ausser der orangenhautartigen Oberfläche der Sonne ist darin eigentlich nicht viel zu sehen. Doch bei der Live-Aufnahme ist deren rasche Veränderung als «Brodeln» gut zu beobachten. Zudem kommt, bedingt durch die Sonnenrotation, der östliche Rand mit 2 km/sec auf uns zu, und der westliche entfernt

sich mit der gleichen Geschwindigkeit. Subtrahiert man die Sonnenrotation, bleiben die Schwingungen übrig. Man muss nun die Frequenzen der einzelnen Schwingungen aus der brodelnden Sonne herausfiltern. Es ist unschwer, sich vorzustellen, welchen Arbeitsaufwand dies mit sich bringt: Jeder Bildpunkt muss einzeln beobachtet und seine Schwingung gemessen werden. Kommt er auf uns zu, sind seine Spektrallinien blau –, entfernt er sich von uns, sind sie rotverschoben. Diese Frequenzverschiebungen zeigen uns, wie schnell die Oberfläche an der fraglichen Stelle oszilliert. Erstellt man eine Analyse dieser Geschwindigkeiten als Funktion der Zeit, ergeben sich damit die Frequenzen aller schwingenden Moden aufs Mal. Es ist zwar unmöglich, einen Modus einzeln zu beobach-

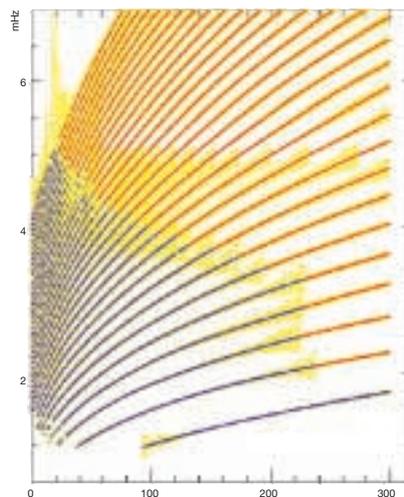


Abbildung 4: Das Frequenzspektrum der Sonne. Jedem Schwingungsmodus (horizontal) mit seiner Frequenz (vertikal) entspricht ein Punkt in diesem Diagramm. Die Fehlerbalken (gelb) sind stark überzeichnet und mit einem Faktor 100, teilweise gar mit einem Faktor 1000, multipliziert. Die mit SOHO erzielte Genauigkeit ist also phantastisch.

SOHO/MDI/SOI

ten, aber durch die Frequenzanalyse können wir sie auseinanderhalten. Eine Zeitreihe solcher Bilder liefert uns also die einzelnen Schwingungsmoden und ihre Frequenzen (**Abbildung 4, 5**).

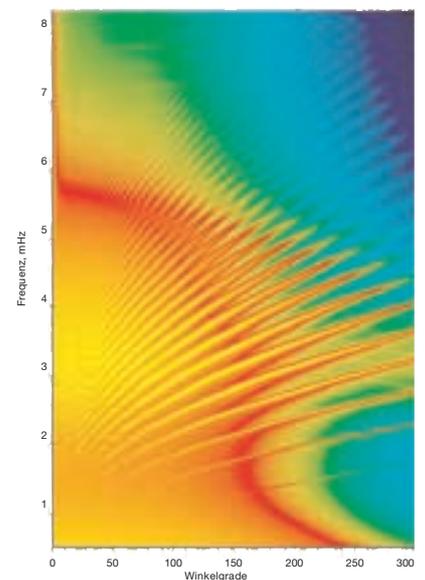


Abbildung 5:

Dieses Bild entspricht dem Diagramm in Abb. 4, wobei aber an jeder Stelle die Energie farbcodiert aufgezeichnet wurde, welche in dortigen Mode steckt. In den hellen Bereichen steckt viel Energie, in den dunklen weniger. Man sieht, dass die Schwingungen hauptsächlich im Bereich zwischen 2 und 4 Millihertz auftreten, was ungefähr einer Schwingungsdauer von etwa 5 Minuten entspricht.

SOHO/MDI/SOI

Der Weg ins Innere

Bisher haben wir nur über Messungen an der Oberfläche der Sonne gesprochen. Wie aber kann man daraus auf ihr Inneres schliessen? Jeder Schwingungsmodus pflanzt sich durch den Sonnenkörper fort und wird von den Bedingungen beeinflusst, die er unterwegs antrifft. Er enthält insbesondere Information über den Zustand der Sonne in der

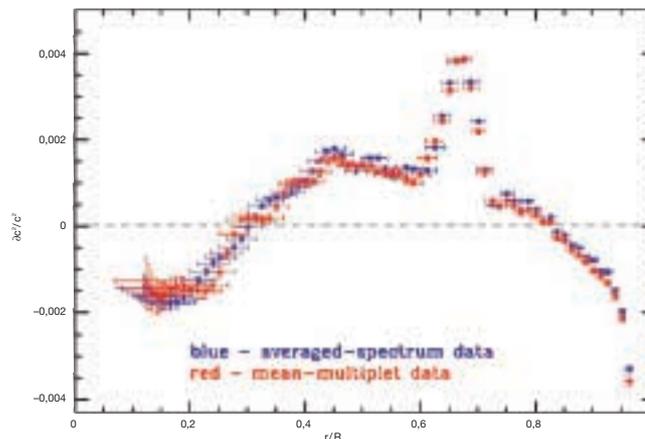


Abbildung 6:

Auf der vertikalen Achse ist das Quadrat der Schallgeschwindigkeit in Funktion vom Zentrum (links) bis zur Oberfläche der Sonne (rechts) dargestellt. Die Schallgeschwindigkeit ist deshalb gewählt, weil sie die Parameter Dichte, Temperatur und Heliumgehalt zusammenfasst. Die roten und blauen Punkte unterscheiden sich nur durch die Art wie die Daten gemittelt wurden, was hier nicht bedeutungsvoll ist.

SOHO/MDI/SOI

tiefsten Schicht, bis zu welcher er vordringt, bevor er wieder zur Oberfläche hin gebeugt wird. Weil verschiedene Moden bis zu grösseren oder kleineren Tiefen vordringen, ergibt sich so ein Tiefenprofil der Bedingungen im Sonneninneren.

Damit präsentiert sich uns folgende Situation: die Sonnenbeobachter sagen uns, wie die Oberfläche schwingt. Jetzt treten die Theoretiker oder «Sonnenmodellierer» in Aktion und konstruieren ein mathematisches Modell, welches den Sonnenkörper bestmöglich beschreibt. Es muss das Temperatur- und das Dichteprofil als Funktion des Radius vom Sonneninnersten nach aussen bis zur Oberfläche enthalten. Besonders wichtig ist auch die Zusammensetzung der Sonne, vor allem das Verhältnis von Helium zu Wasserstoff. Aus diesen beiden Elementen besteht die Sonne ja zur Hauptsache, dazu aus einer kleinen Beimischung von schwererem

Material, welches die Astronomen unter dem Begriff «Metalle» zusammenfassen.

Nach dem Bau eines Sonnenmodells lässt der Theoretiker sein Werk auf dem Computer schwingen und vergleicht danach das Ergebnis mit den Messungen von SOHO. Dabei muss er den Heliumanteil, die Dichte und die Temperatur in seinem Modell so festlegen, dass die Übereinstimmung zwischen Modell und den gewonnenen Daten möglichst hoch sind. In **Abbildung 6** ist die Abweichung zwischen Modell und Beobachtung als Funktion des Sonnenradius dargestellt. Auf den ersten Blick hat man den Eindruck, es bestehe eine grosse Abweichung zwischen modellierten und gemessenen Werten. Man beachte aber die vertikale Achse: Es handelt sich hier um Bruchteile eines Prozents! Es darf füglich als sensationell bezeichnet werden, dass die besten Sonnenmodelle mit den Resultaten von

SOHO bis auf ein paar Promille übereinstimmen! Die grösste Abweichung beträgt 0,4%, und zwar gerade dort, wo die Sonne von Strahlungsenergetransport auf Konvektionsenergetransport umschaltet, also am unteren Rand der Konvektionszone. Es ist gut möglich, dass die Modelle an dieser Stelle nicht vollständig ausgereift und deshalb noch verbesserungsfähig sind.

Es gibt noch eine weitere Möglichkeit, ins Sonneninnere hinein zu sehen. Ich muss hier eingestehen, dass ich vorhin nicht die vollständige Wahrheit gesagt habe. Ein Schwingungsmodus, wie er in **Abbildung 2** mit den roten und blauen Bäuchen und Wellentälern gezeigt wurde, schwingt nicht mit einer einzigen Frequenz, sondern man erkennt bei genauer Beobachtung, dass diese sich aus mehreren, ganz fein aufgespaltenen Frequenzen zusammensetzt. Die Ursache dieser Aufspaltung liegt in der Rotation der Sonne. Stände sie still, würde sie mit einer einzigen exakt definierten Frequenz pro Schwingungsmodus schwingen. (Genauer: alle Moden mit den selben Quantenzahlen n und l schwingen unabhängig von m mit der selben Frequenz). Sie rotiert aber (einmal in fünf- bis sechsundzwanzig Tagen) um ihre eigene Achse, was die Aufspaltung der Schwingungen mit verschiedenen Quantenzahlen m bei gleichem n und l bewirkt. Man kann diesen Effekt mit einem einfachen Experiment zeigen. Schlägt man eine ruhende Kuhglocke an, laufen zwei Wellen gleicher Frequenz gegenläufig rund um die Glocke. Sie überlagern sich gegenseitig und bilden

eine sogenannte stehende Welle, welche man als reinen Glockenton wahrnimmt. Schlägt man aber die rotierende Glocke an, läuft die eine Welle mit der Glockenrotation (und damit etwas schneller), und die andere ihr entgegen (somit langsamer). Deshalb haben beide ganz leicht unterschiedliche Frequenzen, was man als Schwebung (d.h. ein an- und abschwellen der Lautstärke) wahrnimmt. Indem man die Frequenzaufspaltung beobachtet, kann man also auf die Rotation schliessen (**Abbildung 7**).

Die Sonnenoberfläche rotiert am Äquator etwas schneller als an den Polen und diese differentielle Rotation setzt sich im Sonneninneren fort. Etwas unterhalb der Konvektionszone verschwindet sie aber und wird zu einer stabilen Rotation mit einer einzigen Rotationsgeschwindigkeit. Man kann also sagen, dass der Kern der Sonne wie ein fester Körper rotiert und zwar mit einer

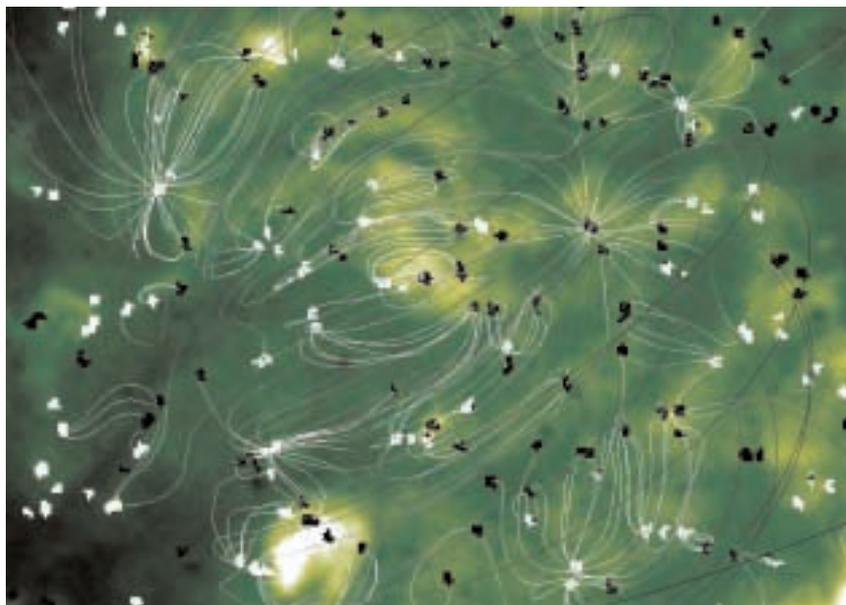


Abbildung 8: Die Sonnenoberfläche

wird auf kleinsten räumlichen Skalen von magnetischem Fluss durchdrungen (schwarze und weiße Stellen im kleinen Bild). Das Magnetfeld bildet so einen eng geknüpften Teppich. Die beständige Bewegung ihrer Fußpunkte bringt gegenläufige Feldlinien in Kontakt, und dies bewirkt Rekonnektion, eine Neuordnung der Feldlinien. Die dadurch freigesetzte Energie ist wahrscheinlich für die Heizung der Korona auf 1 bis 2 Millionen Grad verantwortlich. SOHO/MDI/SOI

Frequenz, die jener an der Sonnenoberfläche bei 30 Grad Breite entspricht.

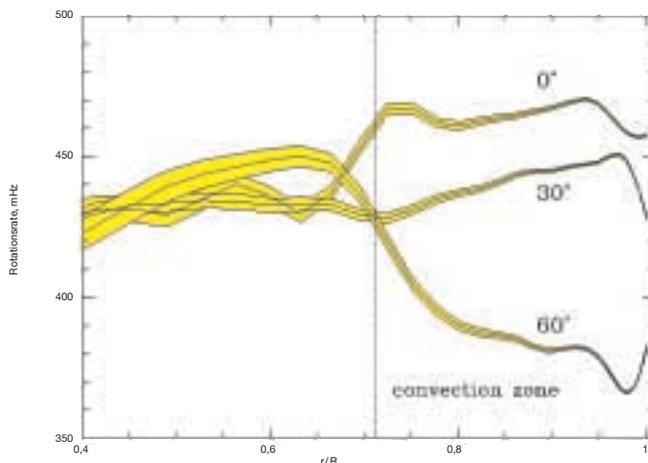


Abbildung 7: Rotationsgeschwindigkeit im Sonneninneren,

ermittelt aus den Frequenzaufspaltungen gemessen mit MDI. An ihrer Oberfläche (rechts im Bild bei $r/R = 1$) rotiert die Sonne, abhängig von der heliographischen Breite, mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten, doch etwa am Grund der Konvektionszone (Mitte, bei $r/R = 0,7$) verschwinden diese Unterschiede, und der Kern (links) rotiert wie ein fester Körper überall gleich schnell.

SOHO/MDI/SOI

Die innere Korona

Verlassen wir nun das Sonneninnere und kommen an die Oberfläche. Ein schönes Resultat von SOHO soll hier speziell erwähnt werden: mit MDI kann man von der Sonnenoberfläche Magnetogramme, d.h. Karten der Stärke und Richtung des Magnetfeldes, erstellen und zwar mit einer Auflösung, die von der Erde aus wegen der Luftunruhe in der Atmosphäre nicht möglich wäre.

Wie ein Teppich ...

An den weißen Stellen in **Abbildung 8** treten Magnetfeldlinien aus der

Sonne heraus, an den schwarzen Stellen dringen sie wieder in die Oberfläche hinein. Offenbar ist dies jeweils an einzelnen konzentrierten Stellen der Fall. Versucht man sich das Bild dreidimensional vorzustellen, bedeutet dies, dass dazwischen Magnetfeldschleifen die Sonnenoberfläche bedecken. Das Magnetfeld scheint demnach einem eng geknüpften Teppich zu gleichen, der die Sonnenoberfläche bedeckt. Neu an dieser Beobachtung ist, dass die Knüpfdichte dieses Teppichs offenbar sehr kleinräumig ist. Von der Erde aus wäre das Magnetogramm lediglich als graue Fläche erkennbar, weil wegen der Luftunruhe die weissen und schwarzen Flecken ineinander verschwimmen würden. Dank SOHO ist es nun aber möglich, diese einzelnen Magnetfeldkonzentrationen aufzulösen. Das ist deshalb von Interesse, weil diese Fusspunkte der Magnetfeldschleifen natürlich nicht ruhig bleiben. Die Konvektion spielt auch hier eine wichtige Rolle: sie verwirbelt diese «Knoten» des Teppichs andauernd untereinander. Die Teppichschlaufen verwirren sich mit der Zeit immer stärker miteinander, was unweigerlich dazu führen wird, dass gegenläufige Magnetfeldlinien miteinander in engen Kontakt kommen. Nun können sich aber die Feldlinien – genau wie Teppichschlaufen – nicht gegenseitig durchdringen, sondern sie werden sozusagen entzweigeschnitten und in einfacherer Konfiguration wieder zusammengesetzt (Rekonnektion). Dadurch wird magnetische Energie in Wärme umgewandelt, und genau diese thermische Energie ist wahrscheinlich für die Aufheizung der Korona verantwortlich. Gemäss den

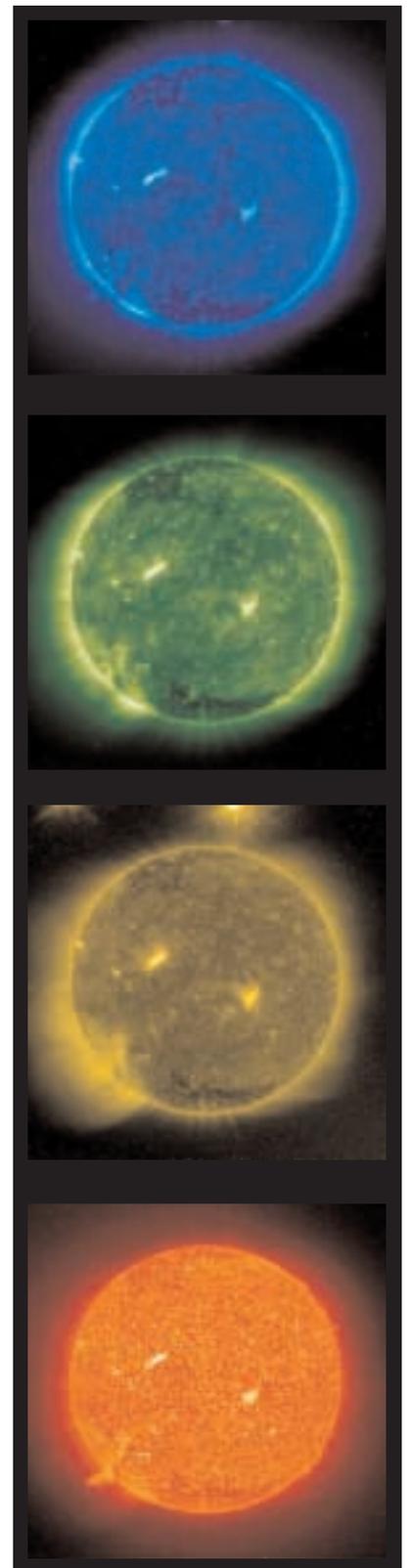
Beobachtungen von MDI existieren zu jeder Zeit etwa 10 000 Schleifen, von denen jede im Durchschnitt etwa 40 Stunden bestehen bleibt (der Teppich wird also etwa alle 2 Tage vollständig erneuert). Jede einzelne Schleife enthält etwa soviel Energie, wie sämtliche AKW der Schweiz zusammen in 1 Million Jahren liefern würden. Es war bisher ein grosses Rätsel, wie es die «kalte» Sonnenoberfläche (sie ist «nur» ein paar Tausend Grad heiss!) schafft, die darüberliegende Korona auf 1 bis 2 Millionen Grad aufzuheizen. Wahrscheinlich wird magnetische Feldenergie durch Rekonnektion oder Neukonfiguration des magnetischen Teppichs in thermische Energie umgewandelt.

Löcher in der Korona

Das «Extreme Ultraviolet Imaging Telescope» EIT beobachtet die Sonnenatmosphäre in vier ganz schmalen Frequenzbändern im extremen Ultraviolettbereich (**Abbildung 9**). Die im Bild sichtbaren Farben sind künstlich erzeugt, um die einzelnen Frequenzbänder sichtbar zu machen. Sie zeigen uns die etwa 1 Million Grad heisse untere Korona. Die aktiven Regionen sind darauf unschwer als helle Gebiete zu sehen.

Abbildung 9: Beobachtung

von 4 schmalen Frequenzbändern im extremen Ultraviolett durch EIT, nämlich bei einer Frequenz von 171 Angström im Licht von Eisen IX und X (d.h. acht- und neunfach geladenen Eisenionen), bei 196 Å (Eisen XII), bei 284 Å (Eisen XV), und bei 304 Å (Helium II, also einfach geladenem Helium). Deutlich sind die Koronalöcher (Coronal Holes) als dunkle Gebiete an den Polen zu erkennen. SOHO/EIT



Besonders schön sind in diesem Licht die koronalen Löcher zu erkennen: Wie bei der Erde sind an den Polen der Sonne Polkappen erkennbar, nämlich die dunklen, scharf begrenzten Koronalöcher. (Der Vergleich mit der Erde ist entfernt zutreffend. Zwar ist die Korona an den Polen immer noch 1 Million Grad heiss, aber die Polkappen sind, ähnlich wie bei uns, deutlich kühler als die äquatorialen Gebiete. Dies allerdings aus ganz anderen Gründen als bei uns, wo die flache Sonneneinstrahlung an den Polen für die Kälte verantwortlich ist.) EIT liefert aber nicht nur ein stehendes Bild, sondern Bildfolgen, welche die ganze Dynamik dieser Korona ausgezeichnet wiedergeben. Man kann verfolgen, wie sich grosse Strukturen in der Korona mitunter innert Stunden völlig verändern und neu formieren.

Die Bilder von EIT können sogar für eine direkte Temperaturmessung in der Korona herangezogen werden: Das Verhältnis zweier Bilder, jener der Eisen-Spektrallinien bei

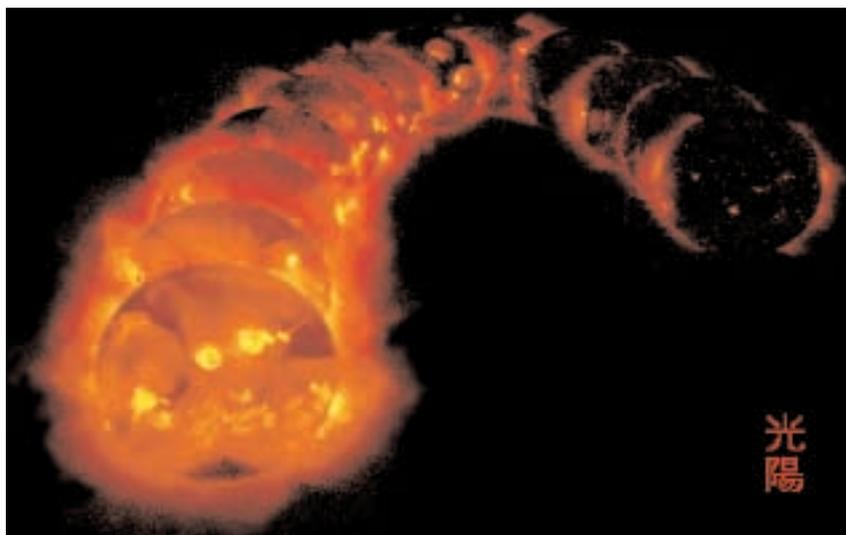


Abbildung 11: Aufnahmen der japanische Weltraumsonde Yohkoh im weichen Röntgenlicht. Die Bilder entstanden in Abständen von 120 Tagen zwischen 1991 (links) und 1995 (rechts). Deutlich ist die abnehmende Sonnenaktivität zu erkennen. Yohkoh

171 und 195 Angström liefert ein Bild der Korona, in welchem die heissen Gebiete heller, die kühleren dunkler erscheinen (**Abbildung 10**). Deutlich sind die aktiven Gebiete zu erkennen, und ihre Struktur tritt im Differenzbild besonders schön hervor. Zur Zeit existieren jedoch nur wenige solcher Aktivitätszonen, da sich die Sonne praktisch in

der ruhigsten Phase ihre Zyklus befindet. Eine andere Weltraumsonde, der japanische Satellit Yohkoh (was soviel wie «Sonnenlicht» heisst), liefert bereits seit vielen Jahren Bilder der Korona im weichen Röntgenlicht (also etwas kurzwelliger als die vorhergehenden Bilder von EIT), die ähnliche Informationen enthalten.

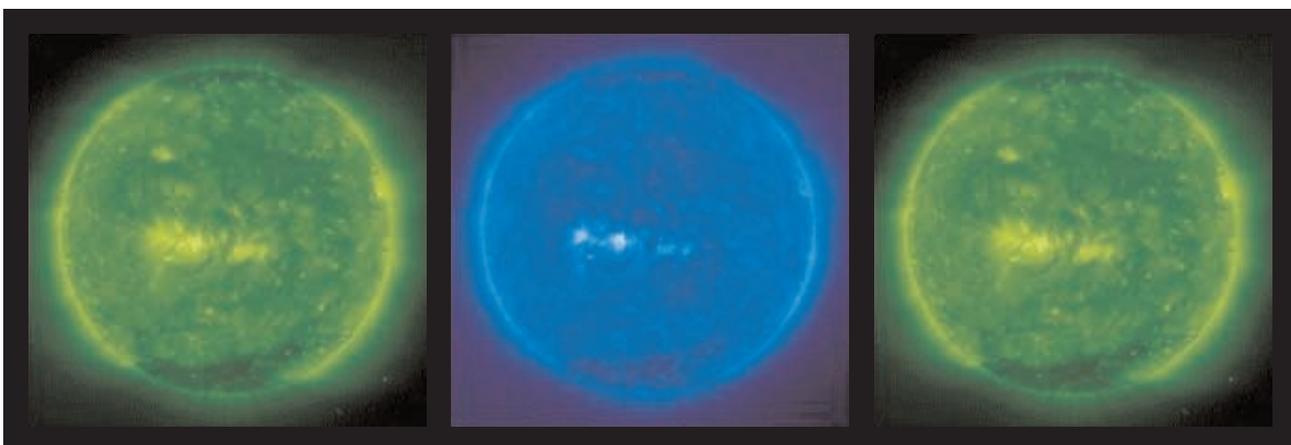


Abbildung 10: Das Verhältnis

der beiden Bilder von EIT bei 195 A (links) und bei 171 A (Mitte) liefert ein Bild der Temperaturverteilung in der Korona (rechts), wobei kühlere Regionen dunkler, heissere dagegen heller erscheinen. In der Mitte des Bildes ist deutlich eine grosse, aktive Region zu erkennen, mitsamt ihrer zusammengesetzten Struktur aus heissen Bogenstrukturen und kühleren Zwischengebieten.

SOHO/EIT

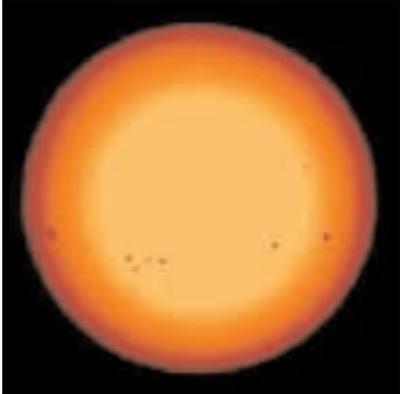
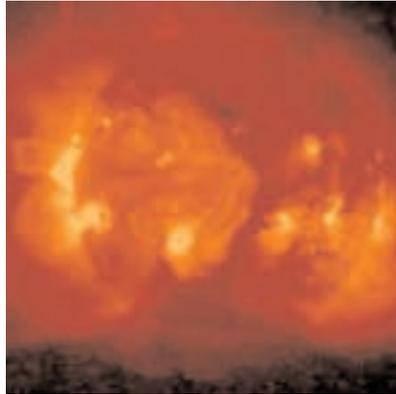


Abbildung 12: Aktive Gebiete

auf der Sonne können auch im sichtbaren Licht als Sonnenflecken ausgemacht werden. Das Bild links zeigt die Sonne im sichtbaren Licht, rechts eine Aufnahme von Yohkoh zur gleichen Zeit im weichen Röntgenlicht. Die hellen aktiven Gebiete entsprechen eindeutig den Sonnenflecken-



Yohkoh

Man benötigt jedoch nicht ein Röntgenteleskop, um die Phase des Sonnenzyklus festzustellen. Die Sonnenflecken sind seit Jahrhunderten bekannt und seit den Beobachtungen von H. Schwabe um 1830 auch ihr elfjähriger Zyklus. Seit damals und bis heute ist die Zürcher Sonnenfleckenrelativzahl ein wichtiger Indikator der Sonnenaktivität.

Die äussere Korona

Der Koronagraph LASCO (Large Aperture Solar Coronagraph) lässt

in **Abbildung 13** die äussersten Schichten der Sonnenkorona hervortreten. Die Sonne selbst ist mit einer Scheibe abgedeckt, welche hier etwa den dreifachen Sonnendurchmesser aufweist. Bei einer natürlichen Sonnenfinsternis kann man die Korona auf ähnliche Weise beobachten, wobei der Mond die Aufgabe der Scheibe übernimmt. Dieses Bild der Korona ist für die gegenwärtig minimale Sonnenaktivität charakteristisch: Man erkennt grosse koronale Strukturen, «Streamers» genannt, über den äquatorialen Gebieten der Sonne einerseits und eine Leere oberhalb der koronalen Löcher andererseits. Man sieht dort schwache Strahlen, die darauf schliessen lassen, dass das Magnetfeld der Sonne dort offen ist und die Korona frei in den interplanetaren Raum ausströmen kann. Die von links unten gegen die Koronagraphenscheibe hin gerichtete gekrümmte Spur ist übrigens ein Komet, der von SOHO ent-

Abbildung 13: Sonnenkorona

(mit Komet!), aufgenommen von LASCO. Die flammenförmigen Objekte («Streamers») sind Quellen des (langsamen) Sonnenwindes. Gelegentlich werden sie als «Coronal Mass Ejections» abgestossen. SOHO/LASCO

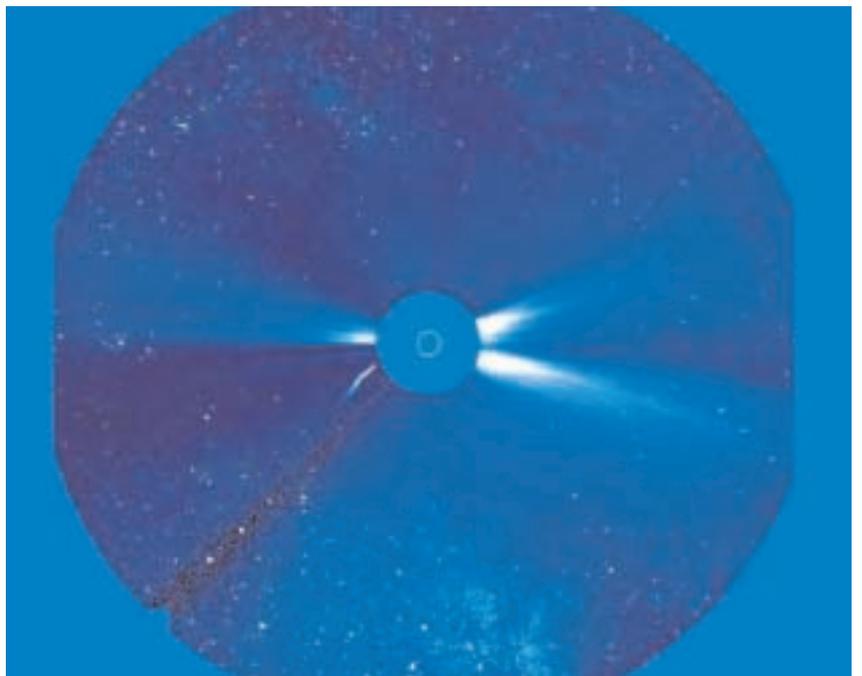




Abbildung 14: UVCS-Bilder, aufgenommen im Licht von neutralem Wasserstoff (links) und von fünffach geladenem Sauerstoff (rechts).

SOHO/UVCS

deckt wurde. Dieser stürzte um Weihnachten 1996 in die Sonne und wurde von ihr verschlungen.

Ein letztes Bild der Sonnenkorona (**Abbildung 14**), durch den Ultraviolett-Koronaspektrometer (UVCS) registriert, zeigt einen Streamer im Licht von Wasserstoff (links) und von fünffach geladenem Sauerstoff (rechts). Die quantitative Analyse solcher Bilder zeigt, dass der Sonnenwind nicht aus dem Inneren des Streamers stammt und von seiner Spitze wegströmt, sondern dass er von der Basis her um den Streamer herum fließt. Der schwerere Sauerstoff scheint nämlich wegen der Schwerkraft der Sonne im Inneren des Streamers nur spärlich vorhanden zu sein, der leichtere Wasserstoff hingegen häufiger. Wir wissen aber, dass der Sonnenwind Sauerstoffionen enthält. Er muss folglich aus den peripheren Gebieten des Streamers stammen, denn in der Mitte ist ja kaum Sauerstoff vorhanden. Der langsame Sonnenwind muss also um den Streamer herumströmen bevor er in den interplanetaren Raum gelangt. Diese Beobachtung löst ein weiteres Rätsel, die Frage nämlich, woher die Sonne ihren langsamen

Sonnenwind, der von einem magnetisch scheinbar geschlossenem Gebiet in der Korona kommt, zu uns hinaus sendet. Sie ist auch ein gutes Beispiel dafür, dass Beobachtungen von seltenen Elementen (das Verhältnis von Sauerstoff zu Wasserstoff ist nur etwa ein Promille) entscheidende Hinweise liefern können.

Der Sonnenwind

Als Sonnenwind bezeichnet man den von der Sonne ausgehenden Materiestrom. Das Vorhandensein eines Sonnenwindes wurde bereits vor dem Raumfahrtzeitalter aus der Existenz von Kometenschweiften vermutet, die immer von der Sonne weg gerichtet sind (**Abbildung 15**).



Abbildung 15: Kometenschweife

waren der erste Hinweis für die Existenz eines Sonnenwindes, da sie immer direkt von der Sonne weg weisen, zumindest der feine, bläuliche Plasmaschweif. Das Sonnenlicht kann dafür nicht verantwortlich sein, da der Schweif sonst auch das Sternlicht absorbieren müsste, was eindeutig nicht der Fall ist.

Wally Pacholka

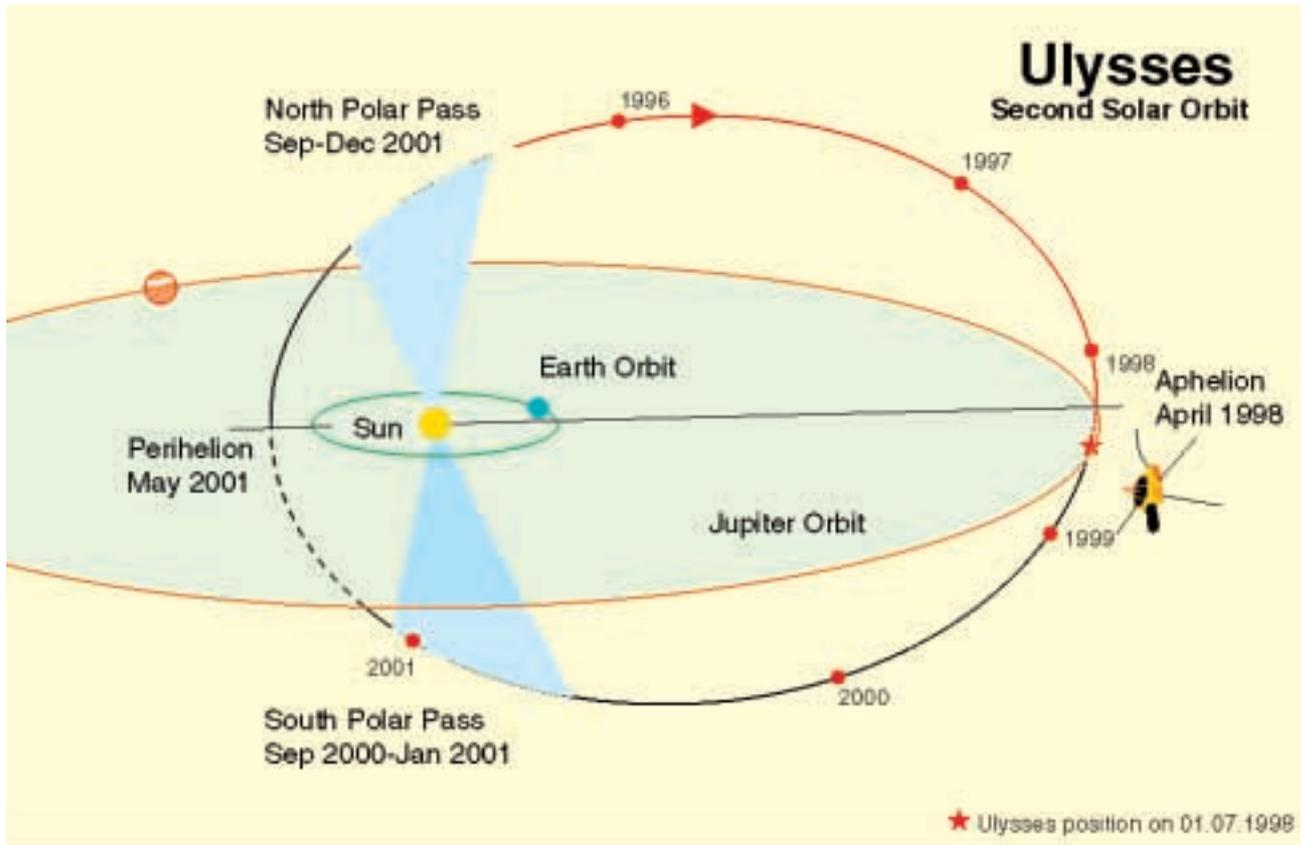


Abbildung 16: Bahn der Weltraumsonde Ulysses.

Nach ihrem Start im Oktober 1990 verlief sie zunächst in der Ebene der Planetenbahnen, bis Ulysses im Februar 1992 durch einen nahen Vorbeiflug bei Jupiter auf eine stark geneigte, nahezu polare Bahn gebracht wurde. In den Jahren 1994 und 1995 überflog die Sonde ein erstes Mal die polaren Gebiete der Sonne und ist heute wieder fast in ihrem sonnenfernsten Punkt angelangt.
Ulysses/ESTEC

Ulysses ist die erste (und bis auf Weiteres wohl einzige) Weltraumsonde, die sich auf einer stark geneigten Bahn gegenüber den Planetenbahnen und dem Sonnenäquator befindet (**Abbildung 16**). Sie kann deshalb auch die bisher unbekannt Gebiete über den Polen der Sonne erforschen. Ulysses ist also die erste Polarexpedition über der Sonne – und dies weniger als 100 Jahre nach den grossen Polarexpeditionen von Nansen, Amundsen und Scott auf der Erde.

Wie aber kann Ulysses den Sonnenwind messen? Beim Sonnenwind haben wir es mit einem sehr feinen Plasmastrom zu tun, dessen Zusammensetzung uns im Besonderen

interessiert. Diese kann durch Massenspektrometer ermittelt werden, welche das Plasma in seine Bestandteile zerlegen können. Wir unterscheiden drei Generationen solcher Messgeräte, welche mit der Zeit zunehmend komplexer und leistungsfähiger geworden sind. Die ersten waren elektrostatische Kondensatoren. Sie lenkten die einfallenden Ionen (geladene Teilchen) ab und sortierten sie lediglich nach dem Verhältnis von Energie zur Ladung. Die nächste Generation kombinierte die elektrostatische mit einer elektromagnetischen Ablenkung, wodurch neben dem Verhält-

nis Energie / Ladung zusätzlich auch das Verhältnis Masse / Ladung bestimmt werden konnte. Die dritte Generation, welche auch auf Ulysses zur Anwendung gelangt, ist (wie auch die zweite Generation) am Physikalischen Institut der Universität Bern, in Zusammenarbeit mit anderen Instituten, entwickelt und gebaut worden. Ein solches Gerät misst zusätzlich zu Energie pro Ladung und Masse pro Ladung auch die Gesamtenergie der Ionen, also die drei wesentlichen Grössen, je separat. Damit sind die Teilchen vollständig charakterisiert.

Es gibt neben den Weltraummassenspektrometern eine zweite wichtige Art des Sonnenwindnachweises: Meteoriten und Mondproben enthalten seit Millionen und Milliarden von Jahren aufgesammelten Sonnenwind. Dieser kann durch Erhitzen oder Ätzen extrahiert und mit

hochpräzisen Labor-Massenspektrometern analysiert und in seiner Zusammensetzung untersucht werden. Dasselbe kann sogar mit Folien realisiert werden, wie sie anlässlich der Mondlandungen verwendet wurden, um den Sonnenwind einzufangen (**Abbildung 17**).

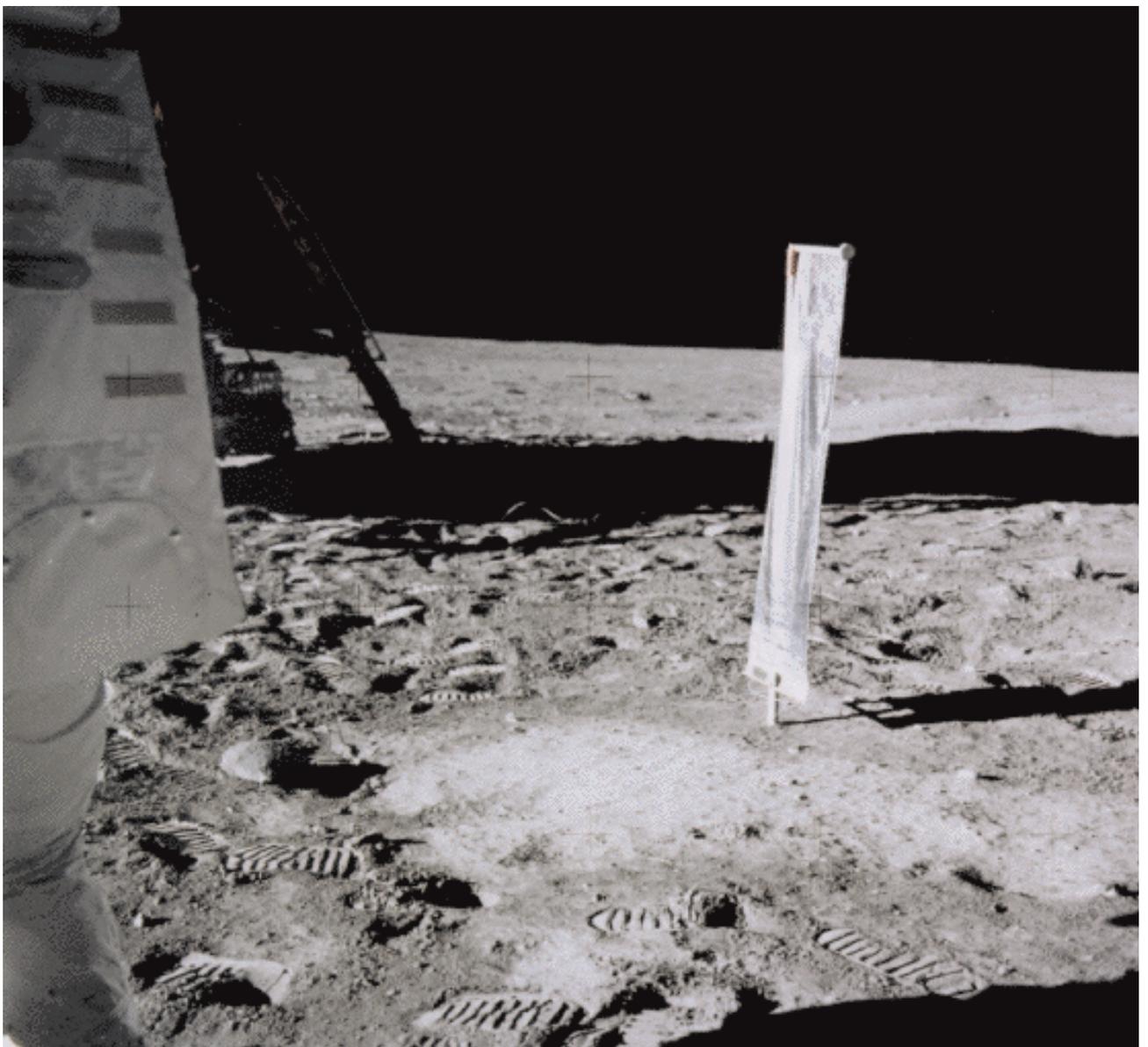


Abbildung 17: Sonnenwindsegel von J. Geiss,

aufgestellt auf der Mondoberfläche von den Astronauten der Apollo-Missionen. Mit dieser einfachen Aluminiumfolie wurden für wenige Stunden bis Tage Sonnenwindteilchen aufgesammelt, um sie nach dem Rückflug im Labor zu analysieren. Für einzelne seltene Elemente (z. B. Argon) sind dies noch heute die besten Messungen.

NASA

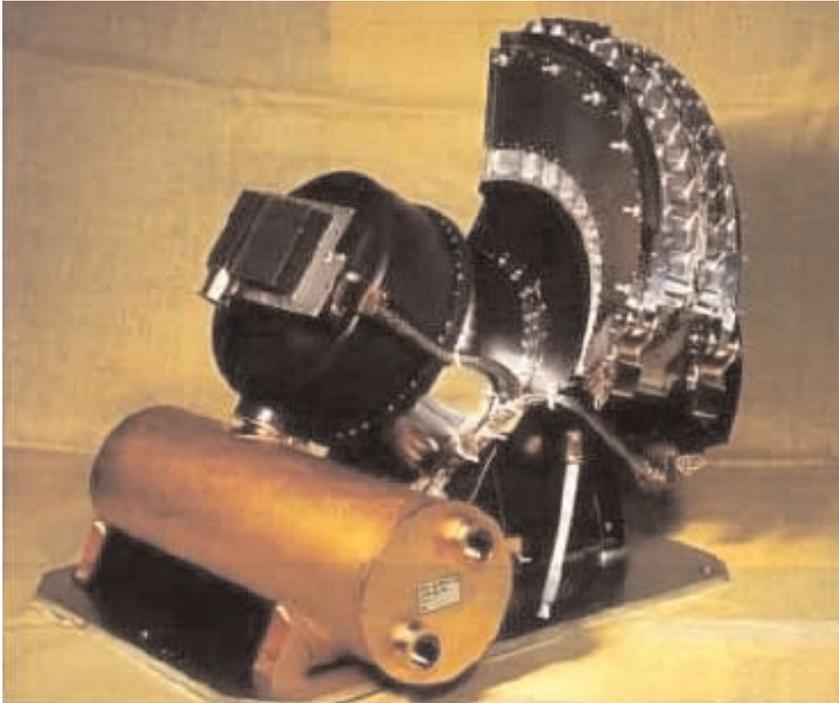


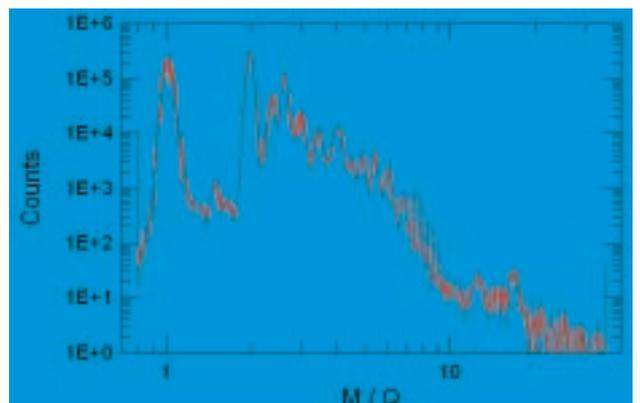
Abbildung 18: Das Massenspektrometer SWICS, das heute auf Ulysses im Einsatz steht. Die Ionen treten durch die fächerförmige Struktur links ins Instrument und werden im Zylinder in der Mitte analysiert. Der goldene Zylinder im Vordergrund ist eine Hochspannungsquelle von 30000 Volt; sie wird benötigt, um die eintretenden Ionen zusätzlich zu beschleunigen und so leichter nachweisbar zu machen. Ulysses/SWICS

Doch zurück zu Ulysses und dem Weltraummassenspektrometer SWICS (**Abbildung 18**). Eine typische Darstellung seiner Messungen ist in **Abbildung 19** gezeigt: Wie bereits erwähnt, wird jedes einfallende Ion nach seiner Energie, Masse und Ladung klassifiziert. Die Energie ist in dieser Darstellung nicht aufgezeichnet, weil es hier vor allem um die Unterscheidung jedes Ions nach seiner Masse und seiner Ladung geht. (Traditionellerweise zeigen wir auf der horizontalen Achse nicht die Masse, sondern das Verhältnis der Masse pro Ladung, aber die Information ist die gleiche). Die Ionen im Sonnenwind sind offenbar nicht zufällig verteilt, sondern es kommen ganz bestimmte Elemente

in bestimmten Ladungszuständen vor. Zu sehen sind hier unter anderem Kohlenstoff (4-, 5-, und 6-fach geladen), Sauerstoff (6-, 7-, und 8-fach geladen) usw. bis hinauf zum Eisen.

Die Informationen im obersten Bild zeichnete Ulysses während eines Jahres bei seinem Überflug über den Südpol der Sonne auf. Das mittlere Bild in **Abbildung 19** dagegen ist das Ergebnis von Aufzeichnungen, die während über einem Jahr gemacht wurden, als sich Ulysses in der Nähe der Äquatorebene der Sonne, also auch in der Nähe der Ekliptik, befand. Das unterste stammt wiederum aus dem Polargebiet, diesmal aber dem nördlichen.

In **Abbildung 19** sieht man deutlich, dass sich die Bilder von Nord- und Südpol offenbar sehr gleichen, das Bild vom Äquator aber davon klar verschieden ist. Durch weitere Analyse solcher Bilder kann nun die Geschwindigkeit und die Häufigkeit jedes Ions gemessen werden. Indirekt lässt sich damit sogar auf die Temperatur der Korona schliessen, indem wir die Häufigkeiten benachbarter Ladungszustände eines Elements miteinander vergleichen. Stellvertretend für andere Parameter sehen wir in **Abbildung 20** die Geschwindigkeit von Helium, die Koronatemperatur aus den Ladungszuständen von Sauerstoff, sowie das Verhältnis von Magnesium zu Sauerstoff. Aufgezeichnet, und zwar



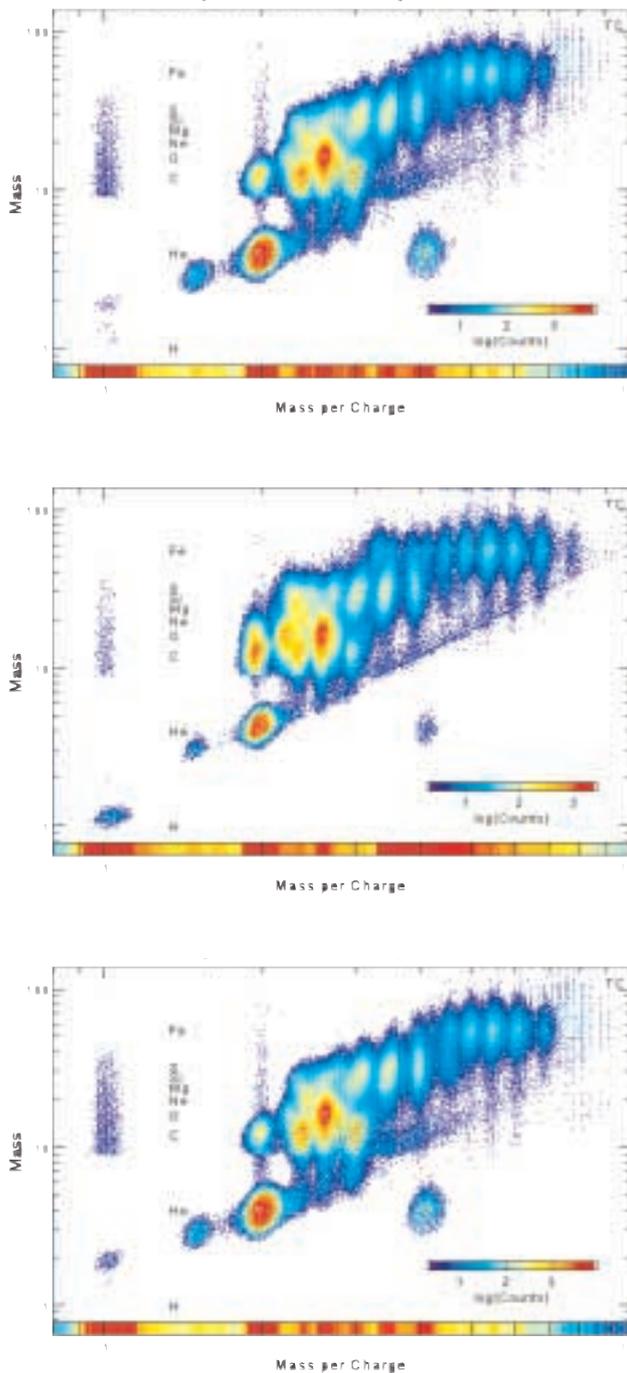


Abbildung 19: Zusammensetzung des Sonnenwindes, gemessen von SWICS auf Ulysses. Die drei Teilbilder wurden zu verschiedenen Zeiten aufgenommen: Südpolgebiet (ganz oben), Ekliptik ebene (Mitte) und Nordpolgebiet (unten). In diesen Diagrammen wird jede Ionensorte gemäss ihrer Masse und ihrer Ladung auf eine bestimmte Stelle abgebildet, ähnlich wie Berggipfel auf einer Landkarte, und kann so einzeln identifiziert werden. Frühere Instrumente dagegen lieferten lediglich ein Panorama (Bild links). Ulysses/SWICS

als Funktion der heliographischen Breite, ist die Zeitspanne vom Start bis zum ersten Quartal 1998 des Ulysses-Projektes. Die Messungen vom Südpol befinden sich links im Bild, jene vom Äquator in der Mitte und jene vom Nordpol rechts.

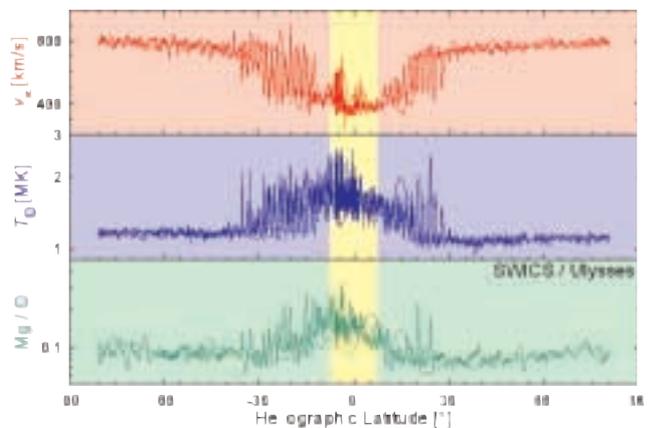
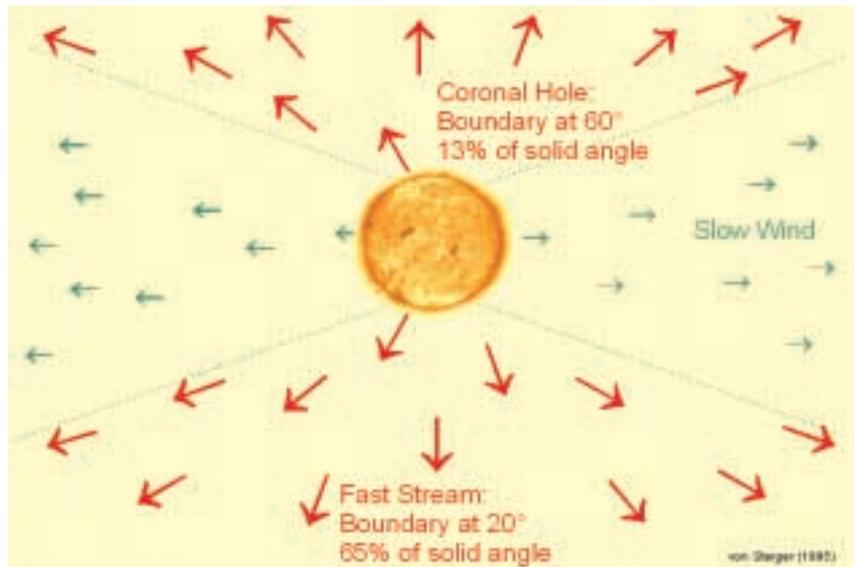


Abbildung 20:

Zusammenfassung dreier Sonnenwindparameter als Funktion der heliographischen Breite: Geschwindigkeit von Helium (oben), die Koronatemperatur aus den Ladungszuständen von Sauerstoff (Mitte), sowie das Verhältnis von Magnesium zu Sauerstoff (unten). In allen drei Parametern bestehen offensichtliche Unterschiede zwischen den polaren Gebieten (links und rechts) und den äquatorialen Zonen (Mitte). Ulysses/SWICS

Der gelbe Streifen in der Mitte zeigt den Bereich der Ekliptik und illustriert eindrücklich, welche limitierte Perspektive wir von der Erde aus im Vergleich zu Ulysses haben. Es ist in dieser Darstellung offensichtlich, dass der Sonnenwind bei hohen Breiten schnell und fast konstant, bei tiefen Breiten dagegen langsam und variabel ist. In einer Übergangsregion zwischen ca. 15–30 Grad Breite wechselt seine Geschwindigkeit im Rhythmus mit der Sonnenrotation. Deutlich wird auch, dass in hohen Breiten die Korona kühl ist, was nicht erstaunt, wenn man sich an Koronalöcher in den EIT-Bildern zurückerinnert. Auch die Zusammensetzung ist unterschiedlich, wie hier am Beispiel Mg/O gezeigt.

Abbildung 21: Überra-diale Expansion
 des Sonnenwindes im Aktivitätsminimum: Die polaren koronalen Löcher bedecken lediglich ca. 13% der Sonnenoberfläche (kleines Bild von EIT, Mitte), während der schnelle Sonnenwind bis hinunter zu 20 Grad beobachtet werden kann, also etwa 65% der Heliosphäre einnimmt, und den langsamen Wind auf ein Band um den Äquator komprimiert. Die Dynamik der Heliosphäre wird also (zumindest während des Aktivitätsminimums) von den schnellen Strömen dominiert.
 Ulysses/SWICS



Zusammengefasst könnte dies zu folgendem vereinfachten Bild der Sonne und ihres Windes führen (**Abbildung 21**): Wir kennen einerseits den langsamen Sonnenwind, der von den tiefen Breiten mit den aktiven Regionen der Sonne abströmt. Das Gebiet, in dem er dominiert, reicht grob gesagt von 20 Grad Nord, bis 20 Grad Süd heliographischer Breite. Auf den EIT-Bildern haben wir gesehen, dass die Koronalöcher an den Polkappen sitzen. Ihre Grenzen liegen bei etwa 60 Grad Breite. Zusammengesetzt bedeutet dies, dass der schnelle Sonnenwind aus den Koronalöchern sehr stark expandiert bis hinunter auf 20 Grad. Die Koronalöcher selber bedecken nur etwa 13% der Sonnenoberfläche, die schnellen Ströme nehmen aber etwa 65% der Heliosphäre ein. Es findet also eine überra-diale Expansion des schnellen Sonnenwindes statt, welche die Heliosphäre zumindest zu Zeiten des Aktivitätsminimums dominiert.

Abschliessend noch ein Blick auf die neueste Generation von Sonnenwindinstrumenten. Auf SOHO fliegt ein Massenspektrometer, CELIAS / MTOF, welches ebenfalls in Bern mitentwickelt und -gebaut wurde. Gegenüber SWICS auf Ulysses besitzt es eine phantastische Massenauflösung (siehe **Abbildung 22**). Die quantitative Auswertung dieser Daten wird in naher Zukunft unser Bild der Sonne verfeinern und womöglich erweitern.

Unser neues Bild der Sonne

Fassen wir zum Schluss kurz zusammen:

- Die Resultate der Helioseismologie stimmen mit den besten Sonnenmodellen auf Bruchteile eines Prozentes überein.
- Dies liefert eine sehr genaue Messung des solaren Heliumgehalts.
- Die Lösung des Neutrino-problems (d.h. dass von der Sonne weniger Neutrinos produziert werden als erwartet) muss im Rahmen der Elementarteilchenphysik gesucht werden.
- Die «kalte» Photosphäre (5000 K) heizt die Korona durch Rekonnexion im magnetischen Teppich auf über 1000000 K auf.

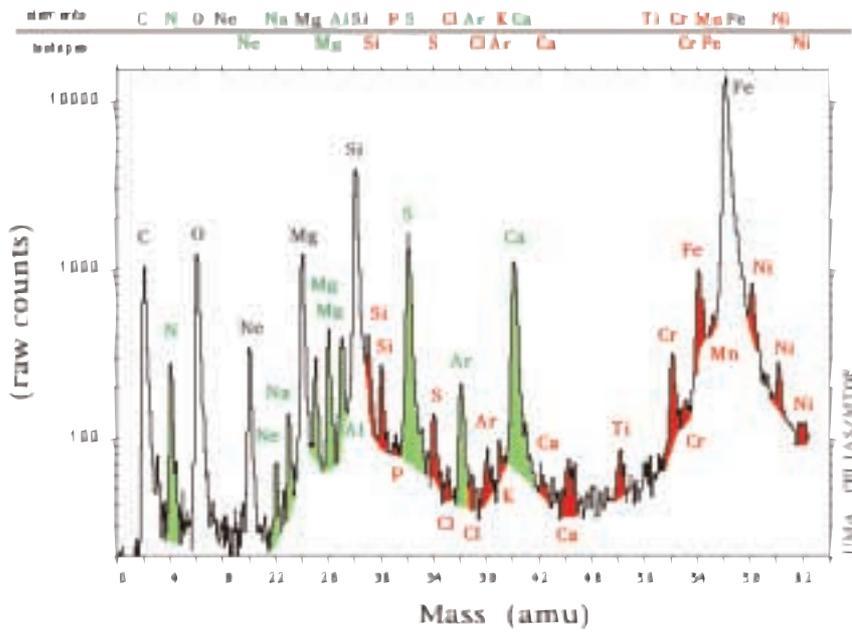


Abbildung 22: Die nächste Generation

von Weltraummassenspektrometern ist auf SOHO bereits im Einsatz. Einer der drei Sensoren von CELIAS, das MTOF, besitzt eine phantastische Massenauflösung (dies auf Kosten der Information über die Ladungszustände der gemessenen Ionen). Es kann bisher nicht beobachtete Elemente (grün) und Isotope (rot) nachweisen und voneinander separieren. Die quantitative Auswertung dieser Daten wird in naher Zukunft unser Bild der Sonne verfeinern und womöglich erweitern.

SOHO/CELIAS/MTOF

- Es gibt zwei fundamental verschiedene Sonnenwindtypen:
- Der schnelle Wind strömt ungehindert aus den Koronalöchern und liefert ein nahezu treues Abbild der solaren Zusammensetzung.
- Der langsame Wind strömt um die Streamers herum, seine veränderte Zusammensetzung liefert Hinweise über die Bedingungen und Prozesse in der Chromosphäre und Korona.

Die beiden Weltraummissionen Ulysses und SOHO der europäischen Raumfahrtagentur ESA haben uns ein neues Bild der Sonne geliefert. Wir dürfen aber nicht ver-

gessen, dass dieses bei abnehmender und minimaler Sonnenaktivität aufgenommen wurde. Es ist daher leicht möglich, dass die aktive Sonne in ihrem nächsten Maximum in einigen Jahren noch grosse Überraschungen bereithält. Eine Fortsetzung beider Missionen bis ins Jahr 2001 oder länger wäre daher von grösster Bedeutung. Ulysses scheint dafür bestens gerüstet zu sein, die Sonde sowie alle ihre Instrumente funktionieren acht Jahre nach dem Start (und drei Jahre nach dem ursprünglich geplanten Ende der Mission) tadellos. Die Verbindung zu SOHO dagegen ging leider infolge eines fehlerhaft durchgeführten Manövers im Juni 1998 verloren. Inzwischen (August 1998) konnte sie für kurze Zeit wieder

hergestellt werden, aber die Sonde trudelt weiterhin unkontrolliert vor sich hin. Hoffen wir, dass sie durch geeignete Befehle wieder in ihre richtige Orientierung gebracht werden kann und dass die empfindlichen Instrumente an Bord inzwischen keinen wesentlichen Schaden erlitten haben. Dann wird auch SOHO weiterhin wertvolle Beiträge zu unserem neuen Bild der Sonne liefern können.

Redaktion

P. Abgottspon und H. Schlaepfer

Nachtrag vom Oktober 1998

Die Operation ist geglückt! SOHO befindet sich wieder in seiner Normallage und auch die Instrumente scheinen kaum in Mitleidenschaft gezogen worden zu sein.

Annual Report by the President of the ISSI Foundation

ISSI Information

The third and another highly successful – year of ISSI's operation has come to an end. Not only initiators and sponsors but more and more of the international space science community are recognising the excellence of the Institute's Directorate and its staff, stemming from their dedication to providing an environment where distinguished scientists from all over the world can meet. The results of work performed in workshops and by individuals since the summer of 1997 have been well documented, three new books in the *Space Science Series of ISSI* have been published and a number of articles have appeared in scientific journals.

At the end of this period of ESA's financial support, the Director of Scientific Programmes of ESA, Professor R. Bonnet, set up an Evaluation Group of eight prominent scientists, chaired by Professor Sir Martin Rees, to make an in-depth evaluation of ISSI. This Evaluation Group reported to the Director of Scientific Programmes at the end of April 1998. Based on its favourable report, the Science Programme Committee (SPC) has unanimously agreed to continue their part of ESA's financial contribution to the operational costs of ISSI at the same level.

In a similar action, a delegation of the Swiss Science Council visited the Institute. The Council was requested to evaluate the scientific work performed by all entities receiving financial support from the Federal Office of Education and Science, using special criteria to assure objective assessment. Based on interviews with the Executive Director and staff members as well as on documents prepared by ISSI, this delegation has reported back to the Council. The process of evaluation will not be finished until July/August 1998. Decisions will then be taken concerning financial contributions for the period 2000 to 2003. Despite limited resources, it is expected that ISSI will continue to obtain the same support provided up to now.

With regard to public relations, a number of guests from governmental entities in Switzerland and in Europe visited the Institute during the third business year, and the first issue of the publication of the Association Pro ISSI, "Spatium", appeared in late June.

Looking to the future, the Board of Trustees at its meeting of 19 June 1998 formally established a Search Committee with the mandate to propose qualified candidates for future management vacancies at ISSI.

ISSI is approaching the end of its first phase of existence, which might be characterised as Phase B design, development and qualification. The Directorate and staff of the Institute have clearly met the high expectations of the international space science community. World-wide recognition of the excellence of science performed at ISSI is the best possible ground for further fruitful development of the Institute.

H.Schneiter

August 1998



*“Die Sonne tönt nach alter Weise
In Brudersphären Wettgesang,
Und ihre vorgeschriebene Reise
vollendet sie mit Donnergang.*

*Ihr Anblick gibt den Engeln Stärke,
Wenn keiner sie ergründen mag.
Die unbegreiflich hohen Werke
Sind herrlich wie am ersten Tag”*

Johann Wolfgang von Goethe

SPATIUM

Zum Autor



Rudolf E. von Steiger kam am 21. Juni 1957 als Berner Stadtbürger zur Welt. Er besuchte das Gymnasium Kirchenfeld in Bern, wo er 1976 die Maturität Typus B erlangte. Physik, Mathematik und Astronomie waren die Fächer, die er im anschliessenden Studium an der Universität Bern belegte. Er schloss mit einem Diplom in theoretischer Physik 1984 ab und doktorierte 1988 in experimenteller Physik bei Prof. J. Geiss ebenfalls an der Universität Bern. Dort war er anschliessend Forschungsassistent; ein Stipendium des Nationalfonds ermöglichte ihm einen Aufenthalt am Institut für Physik und Astronomie an der Universität von Maryland in College Park (USA). Im Jahre 1991 kehrte er als Forschungsassistent an die Universität Bern zurück, wo er sich der Analyse und Interpretation der Daten des SWICS-Instrumentes auf Ulysses widmete. In diese Zeit fallen auch Lehraufträge, insbesondere in experimenteller Kosmologie und in Physik Praktiken, an der phil.-nat. Fakultät, wo er sich 1995 habilitierte. Seit der Schaffung des International Space Science Institutes im Mai 1995 wirkt R. von Steiger Senior Scientist, wo er neben der eigenen wissenschaftlichen Arbeit für Teile des Wissenschaftsprogramms und die Edition der daraus resultierenden Buchserie zuständig ist. Zur Zeit arbeitet er

am Institut für atmosphärische, ozeanische und Weltraumwissenschaften der Universität von Michigan in Ann Arbor an Fragen zur Feinstruktur des Sonnenwindes.

Die humanistische Ausbildung mag einer der Gründe für die sprachlichen Interessen von Rudolf von Steiger sein, die von der Muttersprache Deutsch über Englisch, Französisch, Italienisch bis hin zum Japanischen reichen. Als Berner Bürger ist ihm die Aare natürlich nicht nur ein Fluss, sondern auch ein Zentrum geselliger Aktivität, wenn es in den Sommermonaten gilt, in ihren kühlen Fluten durch die Stadt zu schwimmen. Er ist verheiratet und lebt mit seiner Frau und zwei Katzen in der Nähe von Bern.