

Der Lange Atem der Sonne

Die Sonne ist der Mittelpunkt unseres Schwerkraftbeziehungssystems. Alles dreht sich um den Lebensspender und Ankerpunkt. Nicht umsonst haben alle vergangenen Hochkulturen die Sonne und ihre Rhythmen besonders verehrt. Aber so ruhig wie sich der Pol unseres Heimatsystems in der mittelalterlichen Vorstellung darstellt, ist er bei weitem nicht. Mußte hier in Europa, nach der Entdeckung des Fernrohres noch die ungeheuerliche Feststellung, daß die erhabene Sonne auch Flecken hat, vor der heiligen Inquisition verborgen bleiben, beschäftigte man sich am chinesischen Kaiserhof schon lange mit den Rhythmen dieser Unregelmäßigkeiten und deren Auswirkungen auf das Reich der Mitte. Jetzt erschüttern die Meßdaten der neuen Sonnensatelliten erneut das so schön zementierte Weltbild unserer schulwissenschaftlichen Kaste.

Einige Monate nachdem der Satellit **SOHO** im Sommer 1996 seinen besonderen Platz, nämlich den sogenannten Lagrange-Punkt L1 eingenommen hatte, das ist ein rund 1,5 Millionen Kilometer von der Erde entfernter Punkt, an dem sich die Anziehungskräfte Sonne-Erde aufheben, erreichten die ersten sensationellen Daten und Bilder die Erde. Von diesem Punkt ist die Sonne noch weitere 148 Millionen Kilometer entfernt. Anders gesagt: Es werden kaum Korrekturmanöver nötig sein. Dieser Platz weit außerhalb der Erdumgebung erlaubt aber vor allem eine kontinuierliche Beobachtung. Denn wäre **SOHO** ein erdumkreisender Satellit, wäre während der Hälfte der Beobachtungszeit die Erd-Nachtseite im Weg.

Insgesamt 200 Wissenschaftler von drei Dutzend Instituten bearbeiten die Daten, die von den 650 Kilo schweren Meßgeräten geliefert werden; die Sonde wiegt insgesamt knapp zwei Tonnen und ist 3,8 Meter hoch. Die Daten und Bilder können auch im Internet unter:

<http://science.nasa.gov/newhome/headlines/ast/24dec99.htm>

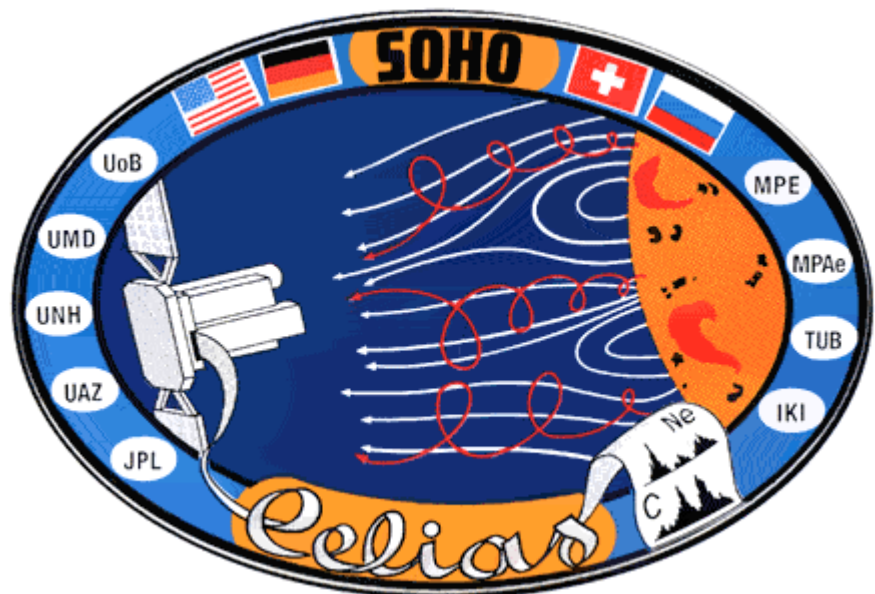
abgerufen werden, wobei das jeweils gewünschte Datum angegeben werden muß.

SOHO steht für die Hauptaufgaben der Weltraumsonde "*Solar and Heliospheric Observatory*", die einerseits die Sonne und deren Umgebung zu beobachten und andererseits die Verhältnisse des Sonnenwindes genauer zu erforschen hat.

Drei Hauptgebiete untersucht **SOHO**:

Sonnenbeben

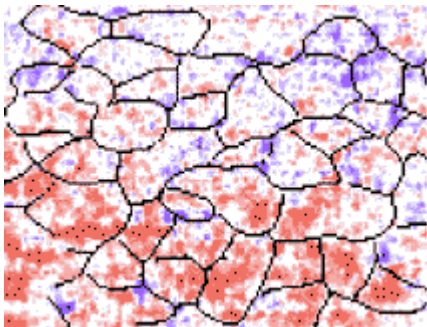
Ein Schwerpunkt widmet sich der Erforschung des Sonneninneren, indem die Oszillationen der Sonnenoberfläche ausgewertet werden. Sozusagen die "Erd-"bebenwellen des Sonneninneren lösen an der Oberfläche Änderungen aus, aus deren Analyse der Aufbau des Sonneninneren erforscht werden kann.



Sonnenwind

Zweitens beobachtet die Wissenschaftssonde den Sonnenwind, einen Fluß von Teilchen, der kontinuierlich von der Sonne abgegeben wird. Der Sonnenwind weht mit einer mittleren Geschwindigkeit von 350 - 400 km pro Sekunde, die Teilchendichte beträgt etwa 10 Teilchen pro Kubikzentimeter.

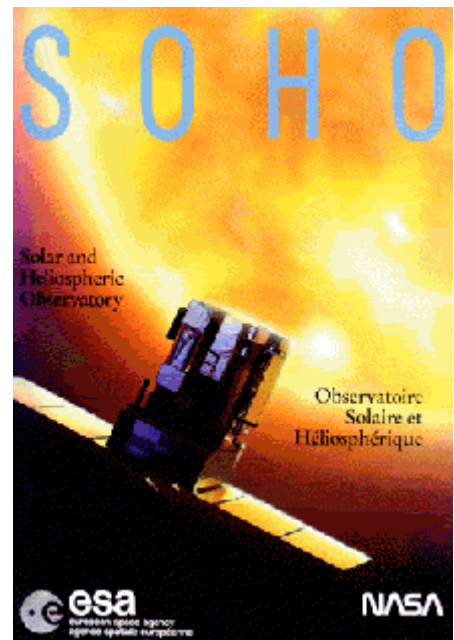
Der schnelle Sonnenwind hat seinen Ursprung in den wabenförmigen Konvektionszellen an der Sonnenoberfläche. In diesen Granulen steigen wie in einem Topf kochenden Wassers Gasmassen nach oben, erreichen nach wenigen Tagen die Oberfläche, kühlen sich ab und sinken wieder zurück in Tiefe. Durch die Konvektion entstehen enorme magnetische Felder an den Rändern der Konvektionszellen - der Motor des Sonnenwindes.



Wenn man sich die Konvektionszellen als Pflastersteine im Hof vorstellt, dann wächst der Sonnenwind wie das Gras zwischen den Rändern der Pflastersteine. Mit Geschwindigkeiten von 30.000 km/h an der Sonnenoberfläche bis zu 3.000.000 km/h wächst der Sonnenwind allerdings sehr viel schneller als Gras. Auf die Spur des Sonnenwindes kamen die Forscher durch die Beobachtung der ultravioletten Strahlung der Sonne. Das heiße Gas in der Ursprungsregion des Sonnenwindes sendet Licht mit einer bestimmte Wellenlänge aus. Doch das Licht war zu kürzeren Wellenlängen hin verschoben - eine charakteristische "Blauverschiebung", die durch den Doppler-Effekt entsteht. Ähnlich wie wir bei einem Feuerwehrauto, das sich schnell auf uns zubewegt, durch die Stauchung der Schallwellen eine höheren Ton hören, werden auch Lichtwellen gestaucht, wenn sie von schnell auf uns zufliegenden Teilchen ausgesendet werden.

Sonnenatmosphäre

Drittens untersucht **SOHO** die Sonnenatmosphäre. Und da kommen die Grazer und Kärntner Wissenschaftler, unter der Leitung von Ass.-Prof.Dr. Arnold Hanslmeier, ins Spiel. Dem Sonnenobservatorium auf der Kanzelhöhe kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Routinemäßig wird dort, wie in anderen Observatorien auch, die Sonne im Weiß- also Gesamtlicht beobachtet. Zusätzlich verfolgt man die sogenannte H-Alpha-Strahlung der glühenden Gasschicht um die Sonne, der Chromosphäre. Für dieses Projekt wurde um ca. 40 000 DM eine hochauflösende CCD-Kamera angeschafft. Die gewonnenen Daten verwenden dann die **SOHO**-Wissenschaftler dazu, um die Meßgeräte der Sonde - zum Beispiel Kameras - auf jene Punkte hin zu konzentrieren, die gerade eine besondere Aktivität zeigen. Co-Investigator ist das Institut allerdings bei einem anderen Experiment mit dem schönen Namen "**VIRGO**", was soviel heißt wie "*Variability of Irradiance and Global Oscillations*".



Strahlung und Sonnenaktivität

Die Frage, die sich hier stellt: Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Gesamtstrahlung der Sonne und den Sonnenaktivitäten? Zwar vermutet man diesen Zusammenhang, aber erst **SOHO** ist so genau, daß er diese winzigen Änderungen im Promillebereich erfassen wird können. Genauere Aussagen über diese Änderungen können wertvolle Hinweise für die Klimamodelle auf der

Der Lange Atem der Sonne

Erde geben. So vertreten Kopenhagener Wissenschaftler die These, die Steigerung der Aktivität bei den Sonnenflecken könnte die Erwärmung der Erdtemperatur zur Folge haben. Statt des vermuteten "Treibhauseffektes", könnten also verstärkte Magnetfeldaktivitäten, die als Ursache für die Sonnenflecken gelten, indirekt für die besorgniserregende Temperaturerhöhung der Erde verantwortlich sein. Eine Hypothese, die man erst mit den genauen Daten von **SOHO** bestätigen oder widerlegen kann.

Bei dem Projekt, an dem sich ein halbes Dutzend Länder beteiligt, arbeiten die Grazer Astronomen vor allem mit Boulder in den USA und mit Teneriffa, einem der wichtigsten europäischen Sonnenforschungszentren, zusammen.. Interessant sind zum Beispiel die Fragen nach den Sonnenflecken: Bekanntlich ist es dort "nur" 4.000; C heiß, während die "normale" Sonnenoberfläche 6.000; C mißt. Wo geht nun diese überzählige Energie hin? Wird sie in die Chromosphäre "ausgelagert"? Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Chromosphäre und den höheren Schichten der Sonnenatmosphäre? Und woher kommt überhaupt der Sonnenwind?

Das Grazer Institut hat an und für sich weniger mit "klassischer" Astronomie zu tun, sondern hat als einziges Institut Österreichs schon seit langem seinen Hauptschwerpunkt im Bereich Sonnenphysik gesetzt. Die Sonne ist der einzige Stern, dessen Oberfläche man im Detail studieren kann, weshalb ihre Erforschung für das Verständnis vom Aufbau und der Entwicklung der Sterne von fundamentaler Bedeutung für die Wissenschaft ist.

Immerhin kann die Kanzelhöhe, die unter der Obhut der Grazer Universität steht, auf eine lückenlose Sonnenbeobachtung von etwa 50 Jahren zurückblicken. Im Europavergleich fällt Hanslmeier nur Greenwich ein, das ähnlich homogene Beobachtungen, dort allerdings seit 100 Jahren, vorweisen kann.

Johanna König

Nicht ganz so lange und mit wesentlich weniger Mitteln ausgestattet beobachtet Johanna König, aus Bischofswerda in Sachsen, seit nunmehr mehr als 10 Jahren die Sonne. Ausgestattet mit einem Fernrohr, einem Gespür für Zusammenhänge und dem Sensorium ihres eigenen Körpers hat die pensionierte Werklehrerin eine ganze Kette von Wirkungszusammenhängen aufgespürt, die eindeutig auf die elektromagnetischen Aktivitäten auf der Sonne zurückgeführt werden können. Johanna König ist extrem föhlig für elektromagnetische Veränderungen bei deren Auftreten reagiert ihr Körper mit Herz-Kreislaufstörungen oder Schlaflosigkeit. Dadurch fielen ihr seltsame Leuchterscheinungen in der Nacht auf, die sie dann konsequent beobachtete und aufzeichnete, zusammen mit einer Beobachtung der Sonne. Schnell erkannte sie einen Zusammenhang mit den Sonnenflecken. Eher zufällig wurde ihre Aufmerksamkeit auf einen Zusammenhang mit Erdbeben gelenkt, die mit 2- 5 Tagen Verzögerung auftraten. Das Sonnenflecken mit der Störung von Funkwellen in Verbindung stehen, ist in den entsprechenden Kreisen schon lange kein Geheimnis mehr. Daß sie aber auch den gesamten Bereich der elektromagnetischen Wechselwirkungen betreffen, vor allem auch in Flugzeugen, wollte man der wissenschaftlichen Außenseiterin nicht abnehmen.

Wie leider im allgemeinen üblich innerhalb der hochbezahlten Liga der Schulwissenschaften, wurden ihre Beobachtungen verlacht. Erst das tatsächlich unabhängige deutsche Magazin "**Raum&Zeit**", unter der Leitung von Hans-Joachim Ehlers¹, ermöglichte ihr den Einstieg in die öffentliche Diskussion. Seitdem nun die Daten von **SOHO** öffentlich abgerufen werden können beginnt man nun weltweit, ihre Annahmen und Schlußfolgerungen ernst zu nehmen. So hat dieser neue Solarsatellit eindeutig ihre Annahme bestätigt, das die elektromagnetischen Störungen direkt von den Aktivitätszonen auf der Oberfläche der Sonne ausgehen und nicht wie man bislang angenommen hat vom Sonneninneren.

Der Lange Atem der Sonne

Interessant wird es, wenn man ihre Aussagen mit denen Theodor Landscheidt's, vom Schroeter-Institut in Nova Scotia im Osten Kanadas, vergleicht. Theodor Landscheidt erarbeitete wertvolle Hinweise, die der Theorie des Treibhauseffektes entgegenstehen.

Die atmosphärische Zirkulation, die Ursache des Wetters, wird von der eingestrahnten Sonnenenergie angetrieben. Klima ist das Integral des Wetters über einen längeren Zeitraum. Es hängt ebenfalls vom Fluß der Sonnenenergie ab. Dies gilt auch für Änderungen des Energieflusses, die mit den variablen Sonnenaktivitäten zusammenhängen. **Nach den neueren Satellitenmessungen steht nun fest, daß die Solarkonstante S eben gar keine Konstante ist.** Die von der Sonne ausgestrahlte Energie verringerte sich vom Sonnenfleckenmaximum 1979 bis zum Minimum 1986, stieg auf dem Wege zum nächsten Maximum des 11-jährigen Sonnenfleckenzyklus wieder an und verringerte sich erneut in der absteigenden Phase des Zyklus. Dies war eine Überraschung für die Sonnenforscher, da plausibel ist, daß die dunklen Sonnenflecken mit ihren starken Magnetfeldern den freien Fluß der Energie vom Sonneninneren nach außen behindern. P. V. Foukal und J. Lean haben jedoch gezeigt, daß sich die hellen Fackeln in der Umgebung der Sonnenflecken bei ansteigender Aktivität noch stärker vermehren als die Sonnenflecken, so daß, entgegen den früheren Annahmen, es zu einem Überschuß der abgestrahlten Energie kommt.

Wissenschaftler des IPCC gehen davon aus, daß die entsprechende Veränderung der Solarkonstanten (ΔS) kleiner als 0,1% ist und deshalb keine klimatischen Auswirkungen haben kann, die gegenüber dem Treibhauseffekt ins Gewicht fallen. Dabei verkennen sie jedoch mit stoischer Ignoranz, daß die Fachliteratur, soweit sie einen Wert von 0,1% zitiert, darunter die absolute Amplitude der sinusförmigen Veränderung der Solarkonstanten versteht und nicht die gesamte Veränderung vom Minimum zum Maximum oder vom Maximum zum Minimum.

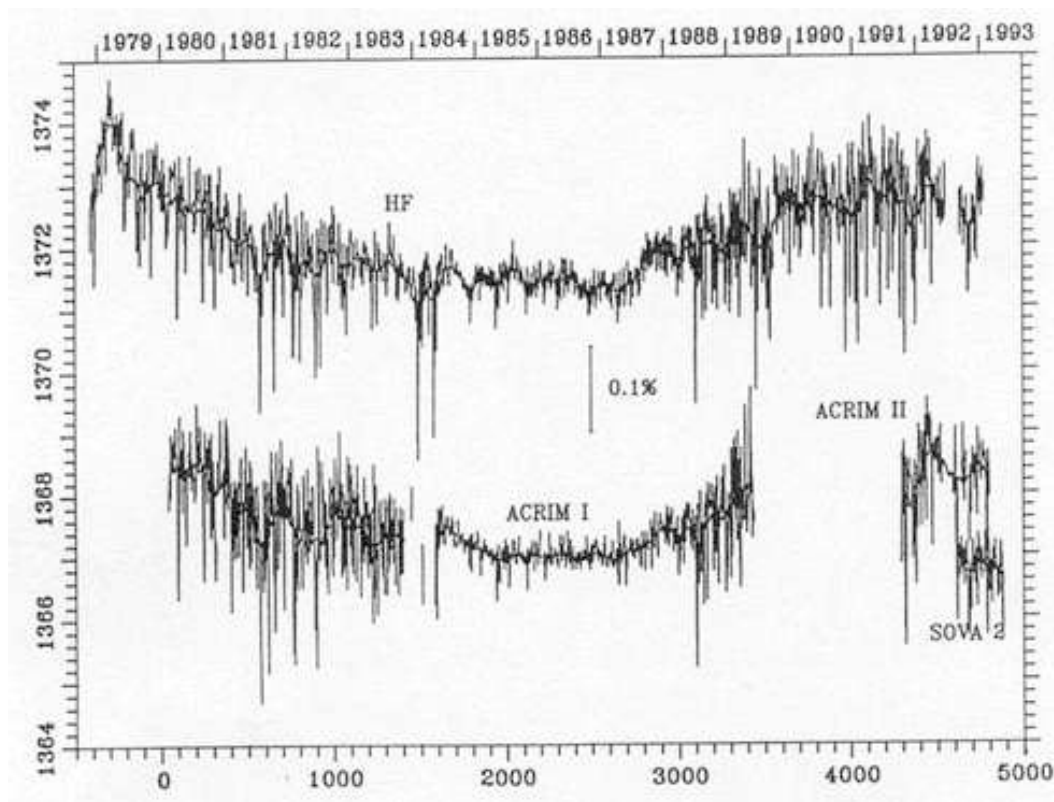
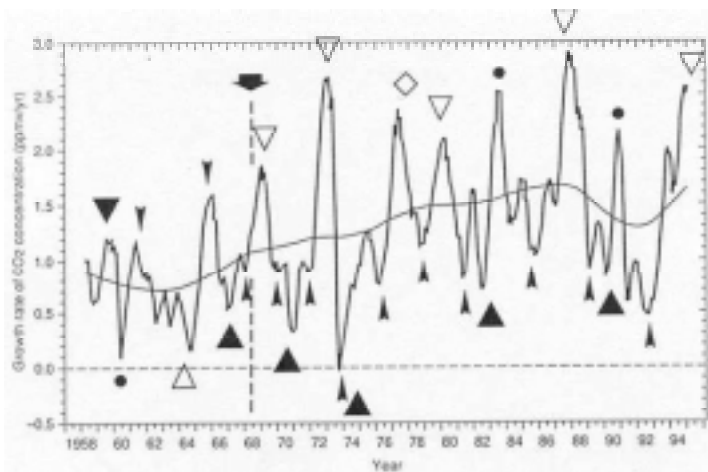


Abb. 1: Von Satelliten gemessene Variation der Solarkonstanten S in W/m^2 im 11-jährigen Sonnenfleckenzyklus nach C. Fröhlich. Von der geglätteten Kurve läßt sich ein Unterschied von $3 W/m^2$ zwischen Maximum und Minimum des Fleckenzyklus ablesen. Dies entspricht einem Strahlungsantrieb von $0,53 W/m^2$ und einem Temperatureffekt von $0,45^\circ C$.

Abb. 1 nach C.Fröhlich zeigt dies deutlich. Die mit HF gekennzeichneten Daten im oberen Bereich der Abbildung sind von der Sonde NIMBUS-7 gemessen worden. Die ausgezogene Kurve gibt 81-tägige übergreifende Mittel wieder, deren Intervall drei Sonnenrotationen von je 27 Tagen entspricht. Die horizontale Achse kennzeichnet den Untersuchungszeitraum, und zwar oben in

Der Lange Atem der Sonne

Jahren und unten in Tagen seit Anfang Januar 1980. Die vertikale Achse mißt die Solarkonstante S in Watt/m^2 . In der Mitte der Abbildung ist zu sehen, welches Ausmaß eine Veränderung von 0,1% hat. Wird mit diesem Maßstab die Veränderung vom Sonnenfleckenmaximum 1979 bis zum Sonnenfleckenminimum 1986 gemessen, und zwar anhand der geglätteten Kurve, so ergibt sich ein $\Delta S \approx -0,22\%$. Demgegenüber können IPCC-Wissenschaftler nicht einwenden, daß es unüblich sei, die Gesamtveränderung in dieser Form zu berechnen. Sie selbst gehen in ihren Ausführungen ebenso vor, indem sie den Anstieg der globalen Temperatur nicht in Relation zum langfristigen Mittelwert setzen, sondern zum letzten Minimum gegen Ende des 19. Jahrhunderts.

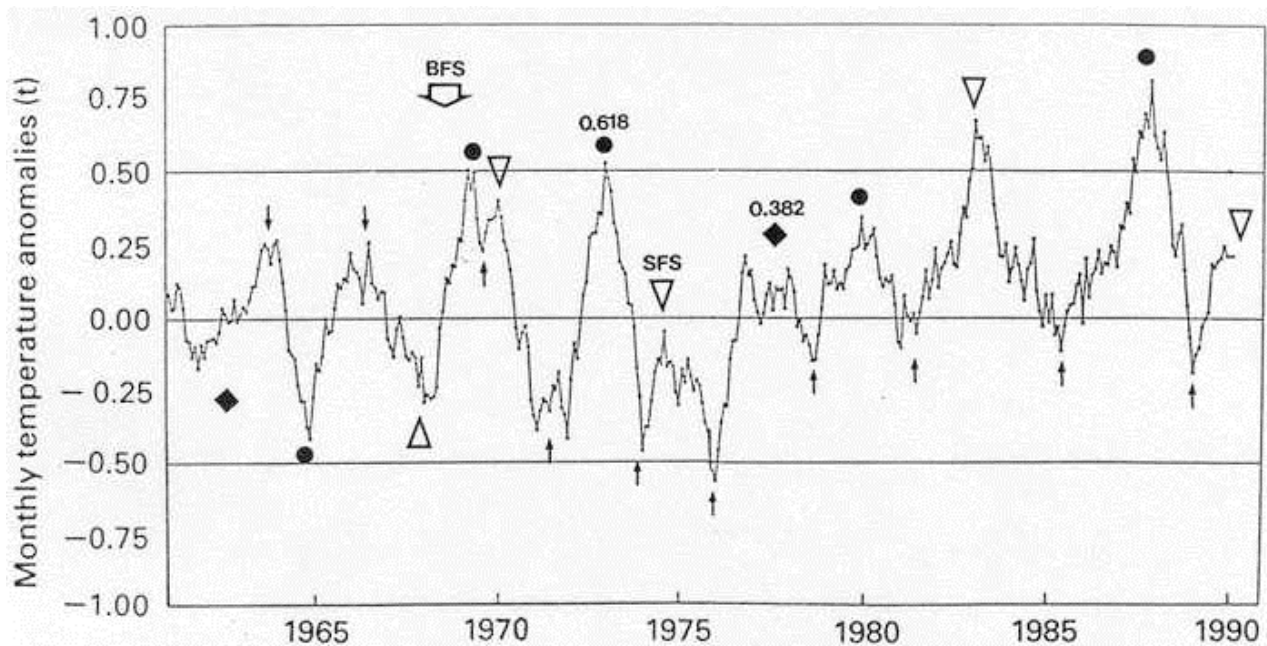


Nach den umfangreichen Satellitenbeobachtungen liegt der mittlere Wert der Solarkonstanten bei $S = 1367 \text{ W/m}^2$. 0,22% dieser Energiemenge machen 3 W/m^2 aus. Dieses Ergebnis läßt sich auch aus Abb. 1 ablesen. Das Maximum von 1979 der geglätteten Kurve liegt bei $1374,2 \text{ W/m}^2$ und das Minimum 1986 bei $1371,2 \text{ W/m}^2$. Die Differenz beträgt 3 W/m^2 . Die Veränderung von 0,22% ist jedoch nicht in vollem Umfang für das Klima wirksam. Die Solarkonstante definiert die Energiemenge, welche die Erde an der Obergrenze der Atmosphäre erreicht. 30% dieser Energie werden nicht von der Atmosphäre absorbiert, also dem energetischen System zugeführt, sondern zurück ins All reflektiert. Weiter ist zu berücksichtigen, daß die Fläche des bestrahlten Querschnitts der Erde nur ein Viertel der Erdoberfläche ausmacht, auf die sich der Wärmeeffekt verteilen muß. Für die Erwärmung der Erde steht daher nur eine Energiemenge von 239 W/m^2 zur Verfügung. Die Änderung von 3 W/m^2 ist hiernach im Umfang von $0,53 \text{ W/m}^2$ klimawirksam. Wie sich dies auf die globale Temperatur auswirkt, hängt von den allgemeinen Zirkulationsmodellen ab, die zur Abschätzung herangezogen werden.

C. Fröhlich geht bei der Klimaempfindlichkeit von einem Faktor von $0,3$ bis $1,4^\circ \text{ C je W/m}^2$ aus. Wird auch nur der Mittelwert $0,85$ verwendet, um eine Überschätzung zu vermeiden, so ergibt sich bei der Energiemenge von $0,53 \text{ W/m}^2$, die für das Klima ursächlich ist, immer noch ein Temperatureffekt von $0,45^\circ \text{ C}$. Der gewählte Mittelwert $0,85$ der Klimaempfindlichkeit liegt innerhalb des Bereiches, der auch in der maßgeblichen Fachliteratur der Klimamodelle angegeben wird. Selbst bei einer mehr als viermal so starken Glättung der Daten wie in Abb. 1, wie sie A. T. Mecherikunnel und H. L. Kyle vorgenommen haben, zeichnet sich noch eine Veränderung der Solarkonstanten von $2,2 \text{ W/m}^2$ mit einem wirksamen Temperatureffekt von $0,33^\circ \text{ C}$ ab.

Temperaturvariationen in der Größenordnung von $0,45^\circ \text{ C}$ oder $0,33^\circ \text{ C}$ im Verlauf von sieben Jahren sind keine vernachlässigbare Größe, wenn man bedenkt, daß sich die globale Temperatur in den letzten 100 Jahren insgesamt nur um $0,4^\circ \text{ C}$ verändert hat. Von dem in der öffentlichen Diskussion angeführten Wert von $0,5^\circ \text{ C}$ müssen $0,1^\circ \text{ C}$ abgezogen werden, die dem Wärmeinseleffekt der Städte zuzuschreiben sind, der nur zu einer Scheinerhöhung der Globaltemperatur führt. So gibt zum Beispiel die Stadt New York siebenmal mehr Energie ab, als sie von der Sonne empfängt. Aber solche punktuellen Extrema verfälschen die globale Statistik.

Der Lange Atem der Sonne



Beobachtete Klimawirkungen, die dem Rhythmus des 11-jährigen Sonnenfleckenzyklus folgen, sprechen dafür, daß die Variationen der eingestrahlten Sonnenenergie in der Atmosphäre durch positive Rückkopplung oder durch stochastische Resonanz verstärkt werden. Bei dieser besonderen Form des Resonanzeffekts wirken zufällige und periodische oder quasiperiodische Anstöße zusammen. Die Beobachtung zeigt, daß Hintergrundrauschen in nichtlinearen Systemen, auch chaotische Systeme genannt, schwache periodische Signale ganz erheblich verstärkt, wenn diese Signale ihre Maximumphase erreichen und der Pegel des Rauschens hinreichend hoch ist. Diese Bedingungen sind in der Atmosphäre erfüllt, da sie durch ausgeprägte Nichtlinearität und einen starken Störpegel gekennzeichnet ist. In diesem Jahr, 2000, erwartet man wieder ein Maximum mit den entsprechenden Störungen des globalen Wettergeschehens, mit solchen Extremen wie das Phänomen El Niño.

K. Labitzke und H. van Loon haben einen statistisch abgesicherten Zusammenhang zwischen den temperaturabhängigen Höhen des 30 hP-Niveaus in der Stratosphäre und den Extrema des 11-jährigen Sonnenfleckenzyklus entdeckt, der auch die Troposphäre erfaßt und sich in ganz bestimmten geographischen Regionen am stärksten auswirkt. Für einen Verstärkungseffekt dieser Art spricht, daß der beobachtete Temperaturunterschied zwischen Minimum und Maximum des solaren Zyklus in der Stratosphäre $1,8^{\circ}\text{C}$ erreicht und an der Erdoberfläche noch $0,9^{\circ}\text{C}$. Über den Subtropen liegt die Temperatur zur Zeit des Fleckenmaximums sogar 2°C höher als zur Zeit des Minimums. Nord- und Südhalbkugel der Erde zeigen dabei spiegelbildlich die gleichen Wetteränderungen im Rhythmus der Sonnenflecken. Die geographische Verteilung dieses Temperatureffekts spricht für die Hypothese, daß bei der Ausbreitung der Wärme eine Modulation der Hadley-Zellen der vertikalen Zirkulation eine wichtige Rolle spielt. Experimente mit Modellen haben gezeigt, daß die starken Winde in der unteren Stratosphäre die Zirkulation in der Troposphäre, die Schicht in der das Wettergeschehen eigentlich stattfindet, beeinflussen können. Solche starken Temperaturveränderungen im Rhythmus des 11-jährigen Sonnenfleckenzyklus sind nicht nur in den letzten Jahrzehnten beobachtet worden. Messungen an Eisbohrkernen bestätigen diesen Zyklus über einen Zeitraum von 200 Jahren, mit regionalen Temperaturveränderungen von sogar $2,6^{\circ}\text{C}$!

Gleißberg-Zyklus der Sonnenaktivität und Klimaschwankungen

Sieben Jahre sind, wenn es um das Klima geht, eine relativ kurze Zeit. Ein Klimaeffekt durch die variierende Strahlung der Sonne ist um so wirksamer, je länger er auf die Erdatmosphäre einwirkt. Nach der Milankovich-Theorie in ihrer modernen Form reicht schon eine lang ausgedehnte Strah-

Der Lange Atem der Sonne

lungsschwankung von nur 0,1% aus, um regelrechte Eiszeiten auszulösen. Es ist hiernach zu erwarten, daß der 90-jährige Gleißberg-Zyklus der Sonnenfleckenaktivität, der die Intensität der 11-jährigen Zyklen moduliert, über ein beträchtliches Akkumulationspotential verfügt. Dies kann im Laufe von Jahrzehnten zur Entwicklung eines klimawirksamen Strahlungsüberschusses oder einer ständigen Absenkung des Strahlungsniveaus führen, wobei die Länge des Zyklus durchaus 120 Jahre erreichen kann.

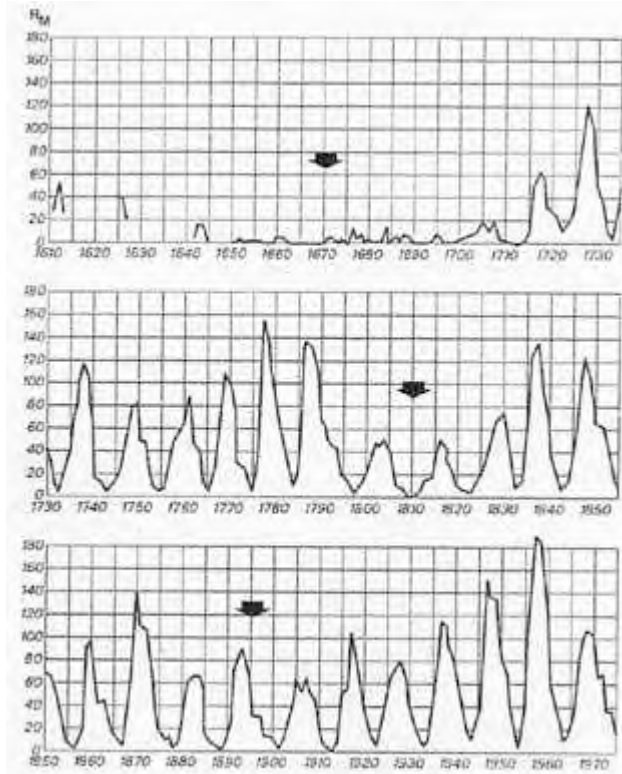


Abb. 2: Modulation der Intensität des 11-jährigen Sonnenfleckenzyklus durch den 90-jährigen Gleißberg-Zyklus nach J. A. Eddy. Die Pfeile weisen auf Minima des Gleißberg-Zyklus um 1670 (Maunder-Minimum), 1810 und 1895 hin, die mit Tiefpunkten der Globaltemperatur einhergingen.

Abb. 2 zeigt, wie stark die Intensität der einzelnen 11-jährigen Zyklen variiert. Verbinden wir ihre Spitzen durch eine einhüllende Kurve, so zeichnen sich die Minima des Gleißberg-Zyklus in den Jahren 1670 (Maunder-Minimum), 1810 und 1895 ab, die durch schwarze Pfeile gekennzeichnet sind. Jedes dieser säkularen Minima ging mit kühlem Klima in der nördlichen Hemisphäre einher. Je tiefer das Niveau der Sonnenfleckenaktivität sank, desto tiefer fielen auch die Temperaturen.

Der 36 Jahreszyklus der Sonne und seine Wirkung auf unser Klima

Die Zyklen der Großen Finger haben eine durchschnittliche Länge von 35,8 Jahren. Sie sind eng mit der Sonnenaktivität verknüpft. Sie fallen mit den Maxima und Minima des Gleißberg-Zyklus zusammen und ermöglichen deren langfristige Vorhersage. Wie wir noch sehen werden, bestimmen sie darüber hinaus die Länge des magnetischen Zyklus der Sonnenaktivität (Hale-Zyklus). Über den Gleißbergzyklus beeinflussen die Zyklen der Großen Finger auch das Klima. Soweit es um Klimaschwankungen geht, ist eine Zykluslänge von 36 Jahren nicht neu. Schon Francis Bacon wies auf einen 35- bis 40jährigen Zyklus in Holland hin, in dem feucht-kühle und warm-trockene Abschnitte aufeinander folgten. E. Brückner entdeckte 1887 diesen Zyklus neu. Er zeigte, daß zahlreiche klimatische Phänomene, die in den verschiedensten Gebieten der Erde erscheinen, aber synchronisiert sind, einem Zyklus von 33 bis 37 Jahren folgen. Er vermutete schon damals einen Zusammenhang mit der Sonnenaktivität. H. W. Clough nahm diese Anregung auf und fand den Brückner-Zyklus nicht nur in zwölf verschiedenen meteorologischen Variablen, sondern auch in der Sonnenaktivität und insbesondere in Variationen der Länge des 11-jährigen Zyklus. D. V. Hoyt und K. H. Schatten haben darauf hingewiesen, daß für die Realität des Brückner-Zyklus spreche, daß er sich in skandinavischen Baumringen über viele hundert Jahre hinweg deutlich abzeichne. Im Hinblick auf Brückners Vermutung, daß ein Zusammenhang mit der Sonnenaktivität bestehe, fragen sie jedoch, welcher Index der Sonnenaktivität mit seinen Variationen dem Brückner-Zyklus folge. Die hier vorgelegten Ergebnisse beantworten diese Frage.

Wieviele Hungersnöte und Mißernten könnten vermieden werden, wenn man diese klimatischen Rhythmen weltweit berücksichtigen würde. Über die Strukturen der WHO und der UNESCO könnte dies beinahe sofort geschehen. Vorbeugen ist billiger und menschlicher als Not verwalten.

Der Lange Atem der Sonne

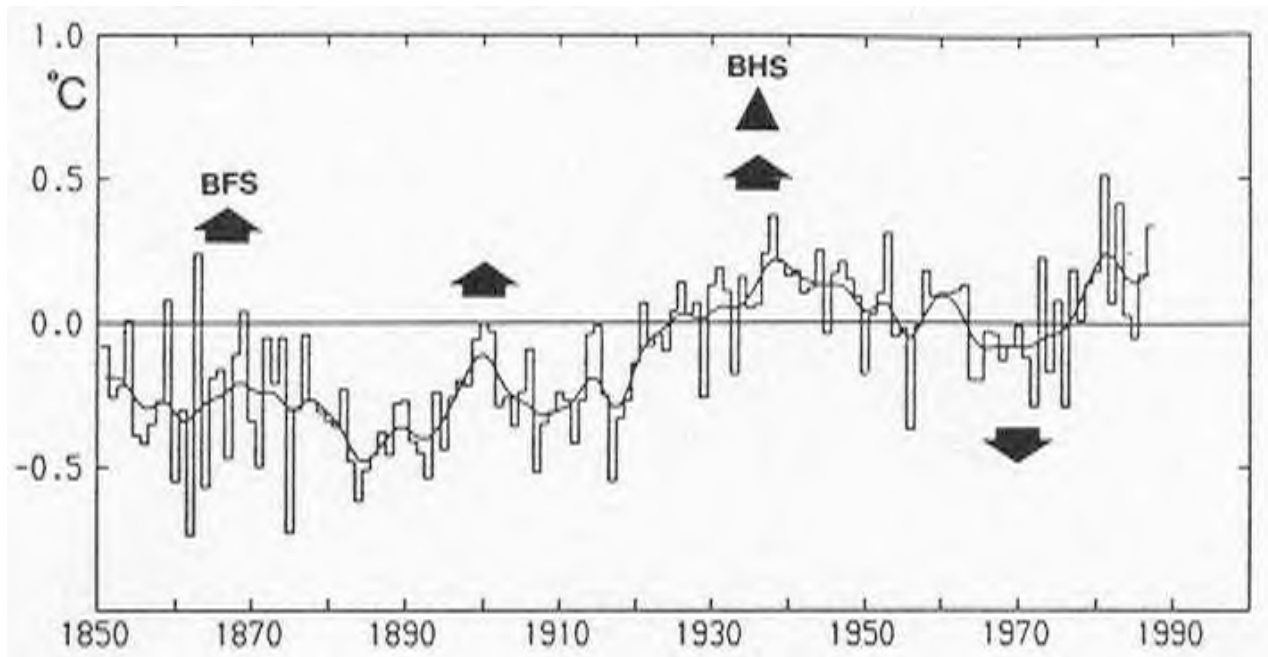


Abb. 9: Zeitreihe 1850 bis 1987 der jährlichen Mittel der an der Erdoberfläche gemessenen Temperatur der nördlichen Hemisphäre. Nullphasen der Zyklen Großer Finger (BFS) sind durch Pfeile angezeigt. Die Nullphase einer hierarchisch übergeordneten Großen Hand (BHS), die einen Phasensprung ausgelöst hat, ist durch ein Dreieck gekennzeichnet. Vor BHS fallen die BFS mit Maxima der geglätteten Temperaturkurve zusammen, danach mit Minima. Der nächste Temperaturtiefpunkt ist um 2007 zu erwarten.

Bei dem in Abb. 9 gezeigten Beispiel handelt es sich um die Zeitreihe der jährlichen Mittel der an der Erdoberfläche gemessenen Temperatur der nördlichen Hemisphäre nach. Die Pfeile kennzeichnen Nullphasen der Zyklen Großer Finger. Das Dreieck im oberen Bereich weist auf das Datum 1933 der Nullphase einer Großen Hand hin. Vor 1933 fällt jeweils die Nullphase eines Großen Fingers mit Temperaturmaxima zusammen, während sie danach mit einem Temperaturminimum einhergeht. Hier handelt es sich offensichtlich um einen Phasensprung. Experimente mit elektronischen und mechanischen Regulationsmechanismen haben gezeigt, daß in Schwingungsknoten, in denen die Schwingung den Wert Null erreicht, Phasensprünge dieser Größe π eintreten können. Die Nullphase eines Großen Fingers ist ein solcher Schwingungsknoten. Entscheidend ist aber, daß er 1933 mit der Nullphase einer Großen Hand zusammenfällt. Hier bietet sich eine Erklärungsmöglichkeit für bisher als unerklärbar und unvorhersehbar angesehene Phasensprünge in solar-terrestrischen Zyklen. Die von der Zentralbewegung der Sonne abgeleiteten Zyklen bilden, wie wir noch sehen werden, ein Fraktal, das hierarchisch aufgebaut ist. Nullphasen von Zyklen auf einer höheren hierarchischen Ebene, wie der Großen Hand, sind dominant und können bei untergeordneten Zyklen, wie dem Großen Finger, Phasensprünge der Größe π auslösen. Da der nächste Schwingungsknoten der Großen Hand nicht vor dem Jahre 2111 erreicht wird, ist damit zu rechnen, daß die auf das Jahr 2007 fallende Nullphase eines Großen Fingers mit einem weiteren Temperaturtiefpunkt einhergehen wird.

Oft spielt auch die erste Oberschwingung von Fingerzyklen eine wichtige Rolle. So stehen Zyklen halber Großer Finger mit einer Länge von 17,9 Jahren in einer engen Beziehung zu der Dicke von Warven des Saki-Sees auf der Krim, die nach W. B. Schostakowitsch vom jährlichen Niederschlag abhängt. Die Untersuchung erstreckt sich auf die Jahre 700 bis 1894, also fast über 12 Jahrhunderte. Die Nullhypothese, daß es keinen Zusammenhang gäbe, ist somit klar widerlegt worden.

Der Lange Atem der Sonne

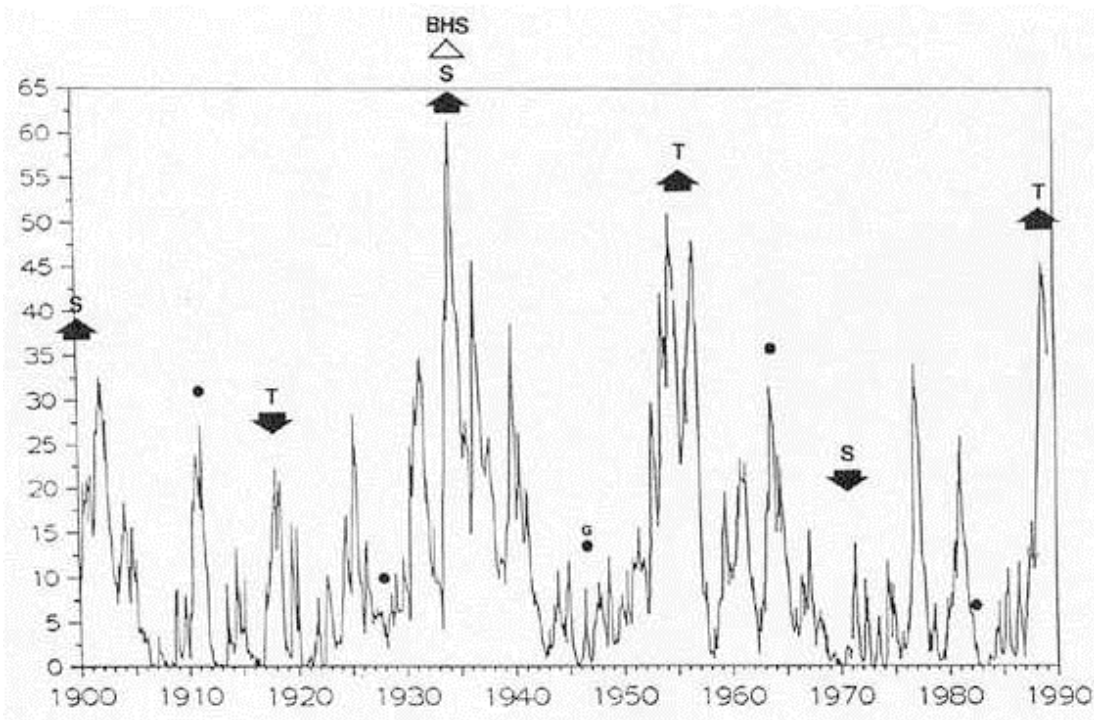


Abb. 10: Palmer-Dürre-Index für die USA. Die vertikale Achse gibt an, welcher Prozentsatz der für die Landwirtschaft erschlossenen Gebiete von Dürre heimgesucht wurde. Die Epochen der Nullphasen (S) und Mittelphasen (T) Großer Finger sind durch Pfeile markiert. Die Nullphase einer Großen Hand (BHS)

ist durch ein offenes Dreieck gekennzeichnet

Nach BHS ist die Zuordnung der Phasen Großer Finger zu den Dürreextrema genau umgekehrt wie davor. Die nächste Nullphase S um das Jahr 2007 wird voraussichtlich in den USA mit feuchtem Klima einhergehen.

Die Zyklen der "Kleiner Finger" als Grundlage zuverlässiger Vorhersagen von Sonneneruptionen und irdischem Klima

Wählen wir bei der Berechnung der laufenden Varianz des Bahndrehimpulses der Sonne einen noch feineren Maßstab von 3 Jahren, so erhalten wir das in Abb.15 gezeigte Ergebnis, das zeigt, daß das Fraktal der Fingerzyklen in der Dynamik der Sonnenschwingung auch Kleine Finger einschließt.

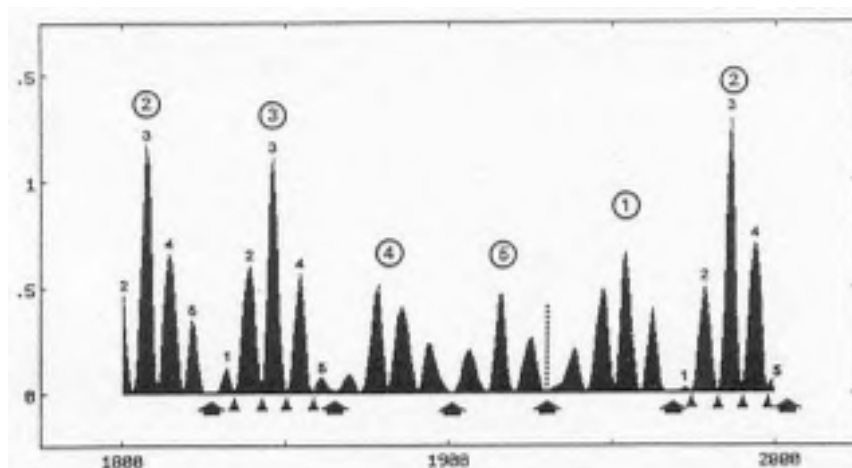


Abb. 15: Diese Kurve der 3-jährigen laufenden Varianz des Bahndrehimpulses L der Sonne 1800 - 2000 zeigt, daß das Fraktal der Fingerzyklen in der Dynamik der Sonnenschwingung auch "Kleine Finger" einschließt. Unter den Großen Fingern, deren Mittelposition durch Große Zahlen in Kreisen markiert ist, treten Kleine Hände mit Kleinen Fingern hervor, die mit kleinen Zahlen numeriert sind. Kleine Dreiecke weisen auf die Nullphasen Kleiner Finger hin, während fette Pfeile die Nullphasen Kleiner Hände anzeigen, die mit den Nullphasen Großer Finger zusammenfallen. Die Zyklen Kleiner Finger haben im Mittel eine Länge von 7,2 Jahren, die aber sehr stark variiert, zumal "verkümmerte" Kleine Hände vorkommen. Die punktierte senkrechte Linie kennzeichnet die Nullphase einer Großen Hand.

Besonders die Nullphasen der Zyklen Kleiner Finger sind interessant. Der Bahndrehimpuls L der Sonne erreicht in diesen Phasen einen Extremwert und dL/dt wird Null.

Der Lange Atem der Sonne

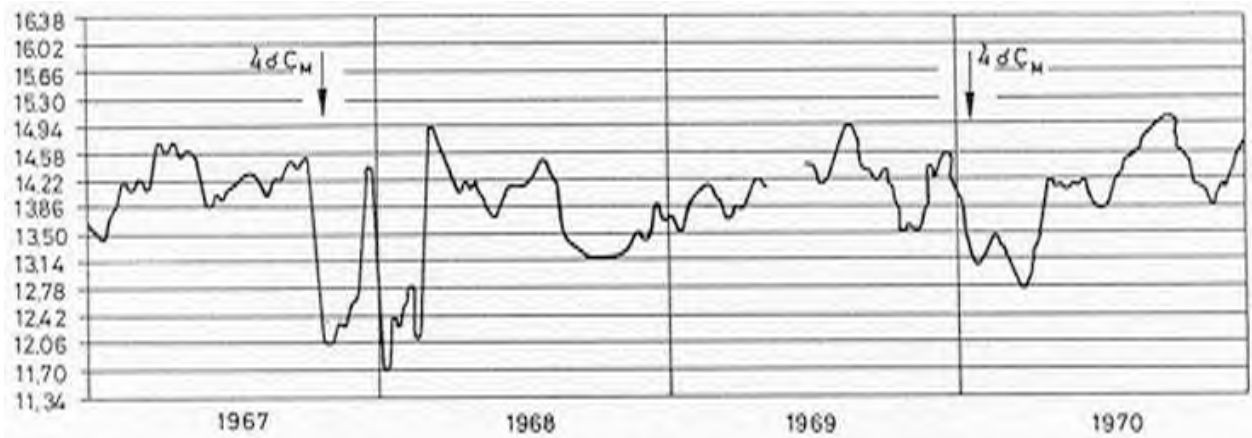


Abb. 16: Auffällige Verringerung der Rotationsgeschwindigkeit der Sonne in zeitlicher Übereinstimmung mit Nullphasen Kleiner Finger, die in der Abbildung als heliozentrische Konjunktionen von Jupiter und Massenzentrum gekennzeichnet sind. Solche Sprünge in der Rotation gehen mit einer Steigerung der Eruptionstätigkeit einher, die vorhergesagt werden kann.

In Abb. 16 nach R. Howard sind zwei solche Nullphasen gegen Ende 1967 und zu Anfang 1970 als heliozentrische Konjunktionen von Jupiter und Massenzentrum CM gekennzeichnet. Jedesmal ereignete sich zu dieser Zeit ein Sprung in der Rotation der Sonne. Die vertikale Achse mißt die Rotationsgeschwindigkeit der Sonne. Auch in früheren Jahrzehnten gingen Nullphasen Kleiner Finger mit Rotationssprüngen einher. Da die Rotation der Sonne mit der Sonnenaktivität verknüpft ist, verwundert es nicht, daß sich energetische Sonneneruptionen zu dieser Zeit häufen. Dieser Zusammenhang ist so zuverlässig, daß er Vorhersagen ermöglicht. Langfristigen Prognosen energetischer Sonneneruptionen und geomagnetischer Stürme, die sich auf insgesamt sechs Jahre erstreckten, erreichten eine Vorhersagegüte von 90 Prozent, obwohl solche Ereignisse in ganz unregelmäßigen Abständen auftreten. Von 75 beobachteten Ereignissen quantitativ definierter Kategorien fielen 68 in die vorhergesagten Zeiträume. Der Ausgang des Vorhersageexperiments wurde von den Astronomen W. Gleißberg, J. Pfeleiderer und H. Wöhl sowie dem Space Environment Services Center in Boulder kontrolliert. Auch die besonders starken geomagnetischen Stürme des Jahres 1982 und der Jahre 1989 - 1991 wurden jeweils mehrere Jahre vorher richtig prognostiziert. Vorhersagen energetischer Sonneneruptionen sind auch für Wetter und Klima von Bedeutung, da solche Eruptionen den Sonnenwind verstärken und so die kosmische Strahlung abschwächen, die nach den bereits erörterten Forschungsergebnissen von Svensmark und Friis-Christensen einen maßgeblichen Einfluß auf die Wolkenbildung hat. So ist nicht mehr unerklärlich, daß Theodor Landscheidt 1982 bei einer internationalen Klimakonferenz in Boulder mit Hilfe solar-terrestrischer Zyklen das Ende der Dürre in den Sahel-Ländern zutreffend für das Jahr 1985 vorhersagen konnte.

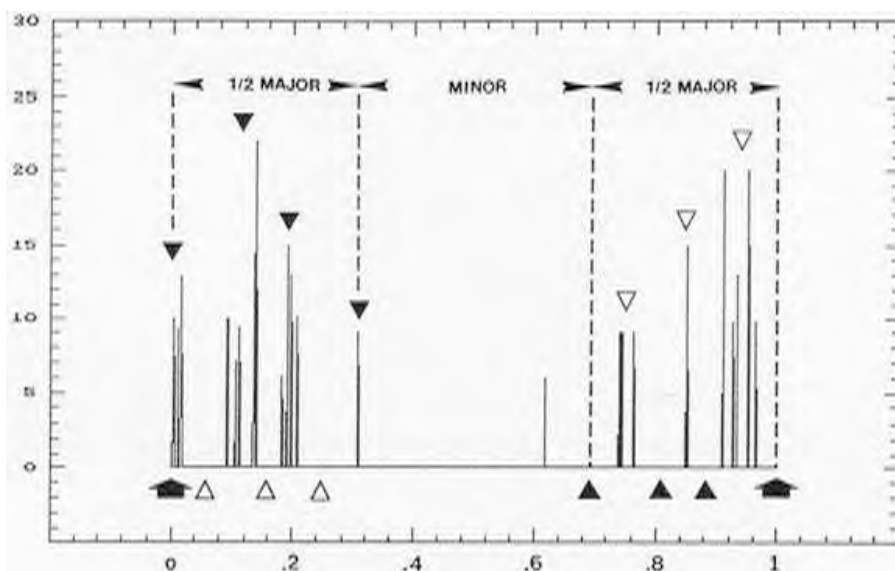


Abb. 17: Verteilung von Röntgenstrahlungsflares der Klasse $X \geq 6$ innerhalb des normalisierten Zyklus des Kleinen Fingers. Diese energetische Sonneneruptionen konzentrieren sich auf den Bereich vor und nach der Nullphase des Zyklus und innerhalb dieser Aktivitätszonen auf Goldene Schnitte, die im Text im Detail beschrieben werden. Dieser hochsignifikante Zusammenhang ($P = 1,3 \cdot 10^{-15}$) läßt sich für Eruptionsvorhersagen einsetzen.

Der Lange Atem der Sonne

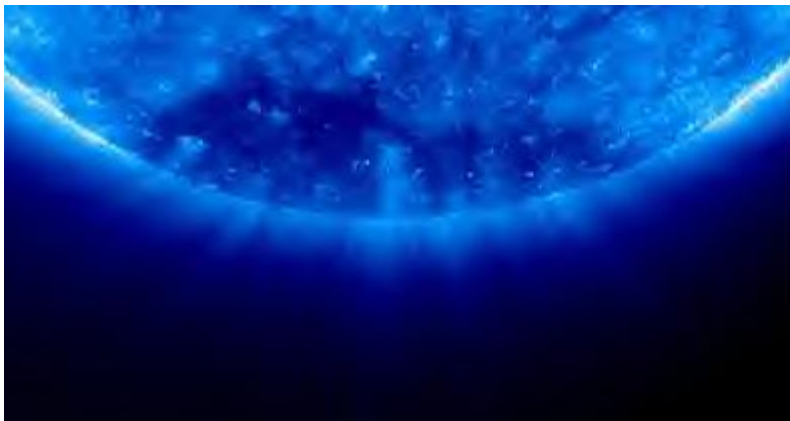
Dieser notwendige Ausflug in die aktuelle Diskussion um das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen den Sonnenaktivitäten und dem irdischen Klima müßte eigentlich jedem klar machen, wie empfindlich abhängig der gesamte Bereich der Elektrodynamik und Elektronik ist. Lassen Sie uns jetzt einmal versuchen diese doch sehr spezifischen Aussagen auf einem etwas verständlicheren Niveau zusammenzufassen und zu verallgemeinern:

Unsere Sonne dreht sich um ihre eigene Achse innerhalb von ca. 27 Tagen. Da sie aber nicht alleine ist, sondern eine ganze Planetenfamilie betreut, dreht sie sich genauer gesagt um den gemeinsamen Massenschwerpunkt, der, genauso wie im kleineren System Erde-Mond, zu berechenbaren Schwankungen führt. Weil die Sonne ein recht aktives energetisches System darstellt, zeigen sich solche Anomalien in verstärkten Aktivitäten, die vor allem im elektromagnetischen Bereich für uns auf der Erde, und allen anderen Mitgliedern unserer Planetenfamilie, von enormer Bedeutung sind.

Jedes Geschehen auf der Sonne erreicht uns innerhalb von 8,3 Minuten bis wenigen Tagen, je nach Intensität und Art der Aktivität. Eigentlich befinden wir uns noch regelrecht innerhalb der Sonne, denn der meßbare beständige Partikelstrom, der sogenannte Sonnenwind, ist noch bis 1000 AE nachweisbar. Ein AE, eine Astronomische Einheit, ist die mittlere Entfernung Erde-Sonne, von 149 597 870 km. Dieser geladene Partikelstrom drückt unsere Ma-



genetosphäre, das Magnetfeld der Erde, regelrecht zusammen, sodaß dieses Magnetfeld eher dem Bild einer Kerzenflamme gleicht, als dem hübsch gleichmäßig gemalten Bild, was wir aus der Schule und dem Fernsehen kennen. Das Erdmagnetfeld hat eine Stärke von durchschnittlich 0,5 Gauß, während schon ein mittlerer Auswurf eines Sonnenflecken 2900 Gauß beträgt. Ein Gauß ist das Maß der magnetischen Flußdichte, heute auch in Tesla gemessen, $1 \text{ Gauß} = 10^4 \text{ Wbm}^2 = 10^2 \text{ Tesla}$. Dieser Strahlungsdruck von der Sonne ist auch der Grund, warum wir tagsüber kaum die Wirkungen von Wasseradern verspüren, während zur "Geisterstunde" die Irrlichter über dem Moor sogar manchmal sichtbar werden.



Wir bewegen uns gemeinsam mit dem Mond also nicht durch den "leeren" Raum um die Sonne, sondern inmitten eines beständig schwankenden Stromes ionisierter Materie. Dies ist eine gewaltige Energiezufuhr für die Erde. Wo geht diese Energie hin? Wie bei allen komplexen Systemen nicht an einen Ort bzw. in eine Form.

Der Lange Atem der Sonne

Ein Teil wird durch das Magnetfeld in Richtung der beiden Pole abgelenkt, dort in einer Spiralbewegung eingesaugt und man kann sagen im Inneren der Erde "weiterverarbeitet". Auch hier muß es ein hierarchisch geordnetes System fraktaler Natur geben, durch das die unterschiedlichen Feldstärken absorbiert werden können. Eine Antwort sind mit Sicherheit Erdbeben und Vulkanausbrüche, wie die Beobachtungen von Johanna König belegen.

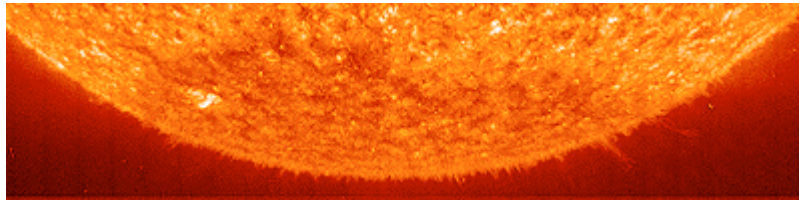


Abb. 19 + 20: Ströme aus aufwärts strömenden heißen Gas in der Sonnenatmosphäre (die sogenannten "Plumes") sind wahrscheinlich eine Quelle des Sonnenwinds. Diese Aufnahmen wurden am 7. März 1996 (SOHO) gemacht. Sie zeigen ein UV-Bild der 1 Millionen Grad heißen Plumes und ein UV-Bild der sogenannten "ruhigen" Sonne.

Ein anderer Teil schlägt direkt in die Atmosphäre durch. Hier sind es neben den Wettererscheinungen vor allem unsere moderne Technik, die hier als Blitzableiter dient. So wissen die Funker seit jeher ein Lied davon zu singen. Aber es traf auch die Stromversorgung ganzer Städte wie zum Beispiel 1976 in den USA. Bei der, nun schon seit einigen Jahren dokumentierten, Intensität mancher Ereignisse, ist es eigentlich verwunderlich, daß nicht schon vor den Vergleichen von Johanna König mit Flugzeugabstürzen, Korrelationen mit Unfallursachen elektromagnetischer Natur untersucht wurden. Immerhin sind elektromagnetische Vorgänge inzwischen die Aorta unserer gesamten Zivilisation. Für so manchen Systemabsturz der letzten Jahre wurde fälschlicherweise dem verwendeten Betriebssystem oder Hardwarebaustein der schwarze Peter zugeschoben.

Wenn bei Flugzeugabstürzen in den letzten Jahren 30 mal die Ursache im Computer gefunden wurde, ist es, so denke ich, an der Zeit einmal darüber nachzudenken, wie man hier wirksame Sicherungen einbaut. Schließlich sind es auch Computer, die nicht nur Kernkraftwerke, sondern unsere gesamte Technik, vom Verkehr bis zur Telekommunikation steuern.

Der Sonnenwind als Antrieb

Nachdem man diesen beständigen Partikelstrom entdeckt hatte, gab es auch gleich Überlegungen, wie man diese Energiequelle nutzen könnte. Lange experimentierte man mit den sogenannten Sonnensegeln. Aber die erwiesen sich immer wieder als zu umständlich, zu schwer und zu stör anfällig. Jetzt da man die gewaltigen Schwankungen messen kann, erscheint es den Ingenieuren nicht mehr verwunderlich.

Für Robert Winglee sind die heutigen Raumsonden lahme Enten. Viel zu lange - sieben Jahre! - braucht zum Beispiel Cassini bis zum Saturn. Mit einer futuristisch anmutenden Antriebstechnik will der amerikanische Physiker eine neue Generation von Raumfahrzeugen auf die interplanetari-

Sonnenwind bedroht Kommunikation, Satellitenausfälle befürchtet

Chicago - Die Satellitenkommunikation wird Anfang 2000 durch die im Elfjahreszyklus besonders heftigen Sonnenaktivitäten massiv behindert. 1989 war in Kanada die Energieversorgung zusammengebrochen, 2000 soll die Beeinflussung noch intensiver sein.

Die geomagnetischen Störungen durch den Sonnenwind Anfang 2000 beeinflussen nach Meinung der US-Air-Force-Astronomen massiv die Solargeneratoren und die Elektronik in den Satelliten für TV-Programme und Datendienste. "Die Sonne spuckt beständig Protonen und Elektronen aus der Hülle", erklärt Professor Rüdiger Staubert vom Tübinger Institut für Astronomie. "Und dieses Plasma strömt radial von der Sonnenoberfläche weg."

"Unsere Satelliten haben Sicherungen", erklärt Jürgen Gorbbin, Marketier des Satellitenbetreibers Eutelsat, der dennoch ein Risiko sieht: "Wir halten für den Notfall Reservekapazitäten frei." Die europäische Weltraumorganisation ESA schickt vier Cluster-Satelliten von Dornier ins All. "Wir untersuchen das Phänomen erstmals mit 3D-Feldmessungen", erklärt Götz Wange von Dornier. Bei Vorhersagen könnte man Satelliten so manövrieren, daß sich Beschädigungen im Rahmen hielten.

Der Lange Atem der Sonne

sche Überholspur schicken: In weniger als einem Jahr ließe sich, so der Forscher, per Mini-Magnetosphären-Plasma-Propulsion die Ringwelt erreichen.

In drei Monaten könnte Winglees Magnetantrieb eine Sonde auf 228 000 Stundenkilometer beschleunigen - nur noch anderthalb Stunden bräuchte die Sonde dann für die Strecke Erde-Mond. Perry Rhodan-Fans werden über dieses Tempo zwar nur müde lächeln, doch für die real existierende Raumfahrt ist dies ein gewaltiger Fortschritt. Zum Vergleich: Die heutigen Raumfähren umkreisen die Erde mit gerade einmal 28 000 Kilometern pro Stunde.

Für die Planetenforscher würde sich damit das Tor zu den fernen Planeten des Sonnensystems - Neptun, Uranus, Pluto - weit öffnen und die optischen Bestätigungen für die berechneten transpluto Planeten erbringen können. Auch die geheimnisvollen Ursprungsregionen der Kometen, der Kuiper-Gürtel und die Oortsche Wolke, wären in relativ erträglichen Reisezeiten zu erreichen. Myriaden der »schmutzigen Schneebälle« aus Wassereis und Felsgestein umschwirren nach Ansicht der Astronomen dort draußen unsere Sonne, wertvolle Überbleibsel aus der Frühgeschichte unseres Planetensystems, wie man vermutet.

Nach nur zehn Jahren Flugzeit könnte ein solches Raumgefährt sogar bis zur äußeren Grenze unseres Sonnensystems, der sogenannten Heliopause, vorstoßen - eine Grenze, welche die 1977 gestartete Sonde Voyager 1 erst 2019 erreichen wird. Dort stößt der Sonnenwind, auf den interstellaren Staub und die Gase zwischen den Sternen.

Von eben diesem Sonnenwind, der mit einer Geschwindigkeit von ein bis zwei Millionen Stundenkilometern durch das All rast, die Raumsonde, einem Segelboot gleich, treiben lassen.

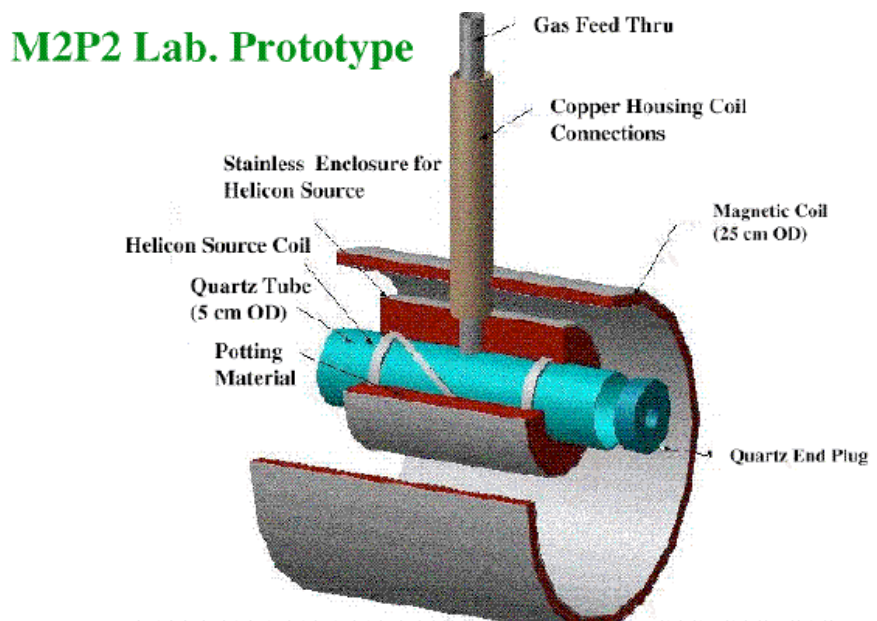
Der Traum vom Segeln durch das Weltall ist keineswegs neu. Wilhelm Oberth, der Vater der Raumfahrt, entwickelte schon 1929 Ideen für ein Generationenschiff mit Sonnensegeln und inzwischen seit über 30 Jahren brüten Nasa-Forscher und deren russische Kollegen darüber nach, wie man Raumsonden allein vom Druck des Sonnenlichts durch das Planetensystem blasen lassen könnte. Kilometergroße aluminiumbeschichtete Plastiksegel wären nach den herkömmlichen Ansätzen nötig gewesen, um genügend Licht zu reflektieren und so für Schwung zu sorgen.

Solche Segel sind im Weltall jedoch nur schwer zu stabilisieren. Die nötigen riesigen Verstrebungen würden das Gewicht einer Sonde - und damit auch die Startkosten - in die Höhe treiben.

Winglee setzt nicht auf das Licht, sondern auf den Teilchenstrom der Sonne als Antriebskraft. Im Prinzip bräuchte man auch dafür gewaltige Segel. In der Praxis, so der an der University of Washington in Seattle lehrenden Professor, ist das jedoch kein Problem: Die Teilchen des Sonnenwinds sind elektrisch geladen und lassen sich deshalb mit einem Magnetfeld ablenken - ein materielles Segel wird nicht benötigt

Sein in Star-Wars-Manier schick zu "M2P2" verkürzter Weltraummotor hüllt die Raumsonde also in ein Magnetfeld ein, um das die Teilchen des Sonnenwinds herum strömen. Dabei übt der Sonnenwind Druck auf das Magnetfeld aus und schiebt so das Raumfahrzeug vor sich her.

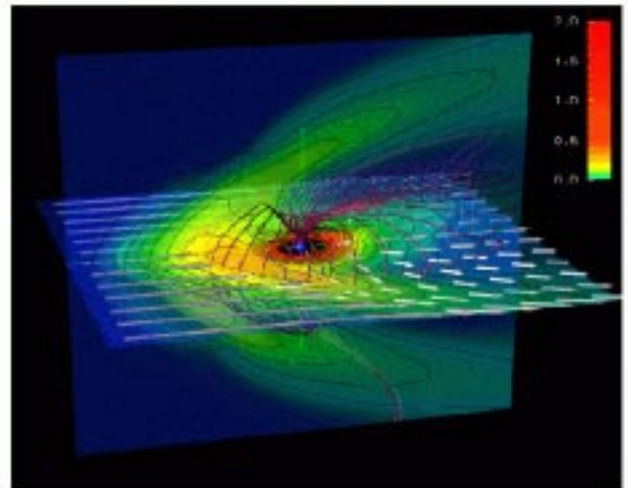
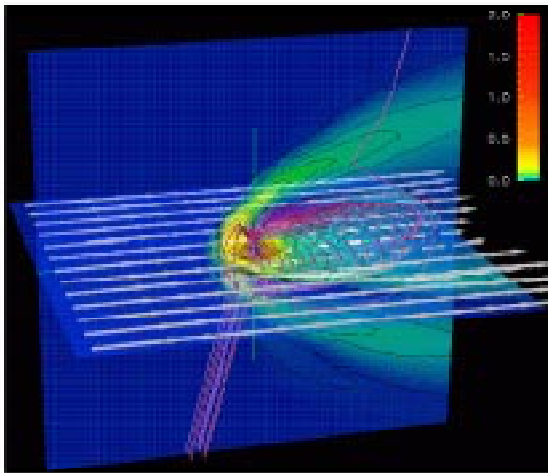
Auf sich allein gestellt hätte ein solches Magnet-



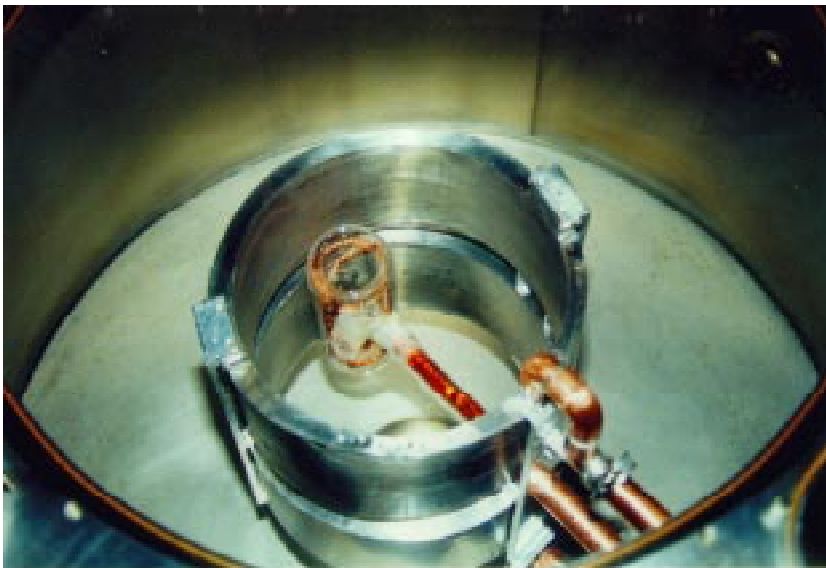
Der Lange Atem der Sonne

feld allerdings eine zu geringe Reichweite - wenige Meter - um für genügend Windkraft zu sorgen. Hier kommt der eigentliche Clou von M2P2 ins Spiel: An Bord der Sonde wird ein Wasserstoff-Plasma erzeugt, ein heißes Gas also, in welchem die Elektronen von den Atomkernen abgelöst sind.

Dieses Plasma strömt in das Magnetfeld hinein. Durch die Wechselwirkung der elektrisch geladenen Plasma-Teilchen mit dem Feld bläht sich das Magnetfeld gewaltig auf - bis zu 40 Kilometer groß kann diese »Magnetosphäre« werden, hofft Robert Winglee. Das Plasma bleibt in der magnetischen Blase gefangen, nur ein geringer Teil des Gases strömt ins All hinaus. Lediglich ein Viertel Kilogramm Wasserstoff pro Tag wäre als Nachschub nötig



Durch eine asymmetrische Ausrichtung des Feldes läßt sich das Raumfahrzeug sogar steuern, sogar gegen den Wind in Richtung Sonne könne man kreuzen. Auch wenn die technischen Einzelheiten dieser Steuerung, wie der Forscher unumwunden zugibt, noch zu klären sind.



Und auch die Erzeugung und Speicherung des heißen Plasmas wirft noch einige technische Probleme auf. Doch mit einem Nasa-Zuschuß von 500 000 Dollar für weitere Forschungsarbeiten im Rücken gibt sich der Physiker zuversichtlich, daß sich diese Hürden bewältigen lassen. Schon in fünf bis zehn Jahren, so hofft er, könnte die erste Sonde ihr Magnetsegel setzen und sich in den Ozean der Sterne begeben, um bisher unerreichbare Fernen zu entdecken.

Prototyp des **Mini-Magnetospheric Plasma Propulsion (M2P2)** an der Universität Washington, Seattle.

¹ raum&zeit Nr. 94/17.Jg/Jul-Aug98: Sonnenflecken und Erdbeben
raum&zeit Nr.102/18.Jg/Nov-Dez99: Flugzeugabstürze durch Sonnenflecken?