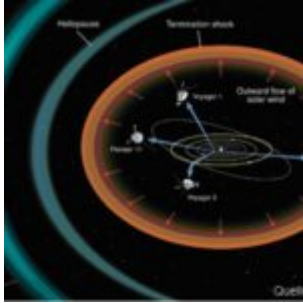


# Teil 4b: Dynamisches Sonnensystem – die tatsächlichen Hintergründe des Klimawandels



Teil 1 – Die Sonne bestimmt den Temperaturgang

Teil 2 – Die Sonne, der faszinierende Stern

Teil 3 – Sonnenflecken und ihre Ursachen

**Teil 4 – Die Sonnenatmosphäre, Korona, Heliosphärische Stromschicht, interplanetares Magnetfeld**

Teil 5 – Die variable Sonne

Teil 6 – Der Einfluss der Sonne auf unser Wetter/Klima

Teil 7 – Der Einfluss der Sonne auf die Wolkenbedeckung über Svensmark hinaus

Teil 8 – Zukünftige Temperaturentwicklung und deren Schwankungen

**Teil 4 – Heliosphärische Stromschicht und interplanetares Magnetfeld**

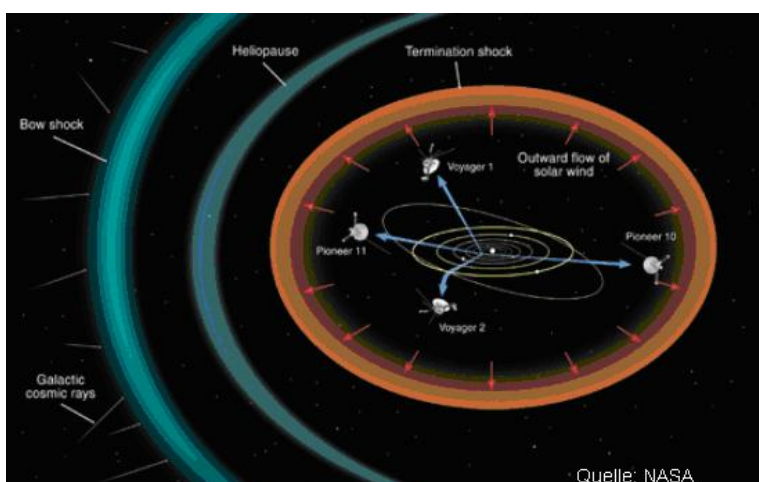


Abbildung 91 zeigt die Ausdehnung der Heliosphäre bis zu den Grenzen des

Sonnensystems in ca. 22,5 Milliarden km Entfernung.

### Heliospheric Current Sheet (HCS)

Da das Interplanetarische Magnetfeld auf der Erdbahn mit bis 1 – 10 nT, 100 bis 1000-fach stärker ist, als das Dipolfeld der Sonne dies erwarten lässt (magnetische Dipolfelder klingen mit der dritten Potenz des Abstandes ab), muss es einen Effekt geben, der es verstärkt. Dies ist die Heliosphärische Stromschicht, die bis an die Grenzen des Sonnenwindes reicht. Dabei hat sie eine Breite von ca. 60.000 km (<http://wind.nasa.gov/mfi/hcs.html#table>). Der elektrische Strom in der HCS ist radial einwärts gerichtet und liegt bei ca.  $10^{-4}$  A/km<sup>2</sup>. Entgegen den Sonnenstrahlen wirkt er nicht in der Kreisfläche, sondern auf der Kugelfläche der Erde, wenn diese es passiert. Mit einem Durchmesser von 12.800 km (mit Atmosphäre) kann auf die Hälfte der Erdatmosphäre ein Flächenstrom von über 25.000 Ampere einwirken.

Die Sonne rotiert differentiell um ihre Achse, die 7,2° gegen die Ekliptik geneigt ist. Am Sonnenäquator beträgt die Umlaufzeit etwa 25 Tage, an den Polen 36 Tage (in der Konvektionszone der Sonne, beträgt die Umlaufzeit 27 Tage).

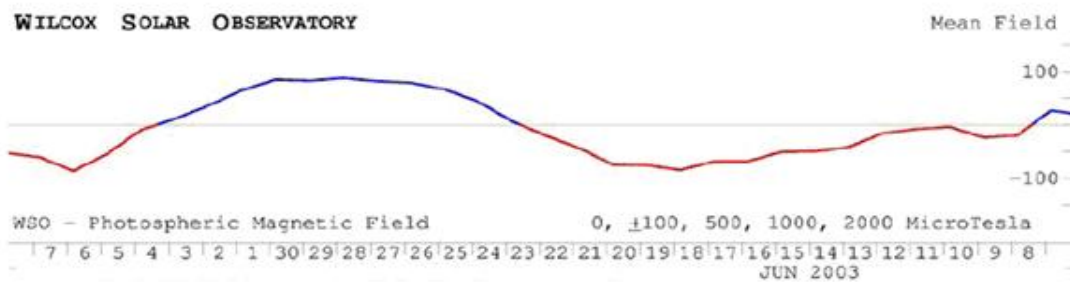


Abbildung 92, Quelle

([http://www.sotere.uni-osnabrueck.de/spacebook/spacebook\\_files/lectures\\_d/space-kap6.pdf](http://www.sotere.uni-osnabrueck.de/spacebook/spacebook_files/lectures_d/space-kap6.pdf)) zeigt die sog. Carrington-Rotation der Sonne von im Mittel 27 Tagen.

Durch die Sonnenrotation wird das Magnetfeld in Äquaturnähe mehr aufgewickelt als in höheren Breiten, wodurch ein komplexes Muster entsteht, welches mit steigender Sonnenaktivität zunimmt.

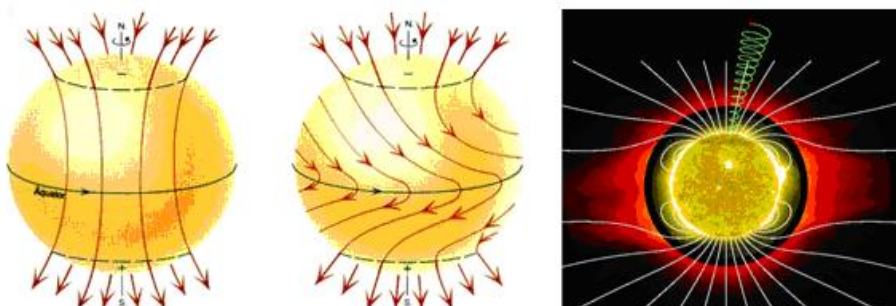


Abbildung 93: Durch die differentielle Rotation wird das starke solare

Magnetfeld zum Äquator hin zunehmend aufgewickelt, wobei an den Polen scharf abgegrenzte koronale Löcher entstehen (Quelle: ESA). Mit einem magnetischen Dipol (wie die Erde) kann das solare Magnetfeld lediglich in einem solaren Aktivitätsminimum verglichen werden, Abbildung rechts (Quelle: [http://soi.stanford.edu/results/SolPhys200/Poletto/uvcs\\_spiral.jpg](http://soi.stanford.edu/results/SolPhys200/Poletto/uvcs_spiral.jpg)).

In der Abbildung von der Stanford University ist ein im Magnetfeld beschleunigtes Teilchen dargestellt. Diese Teilchen bilden den Sonnenwind und werden in radialer Richtung von der Sonne weg beschleunigt. Wegen der Lorentzkraft müssen die Teilchen dabei den Feldlinien des interplanetaren Magnetfeldes folgen

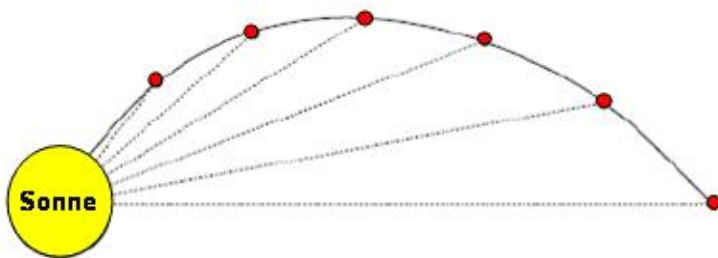


Abbildung 94: Der radial von der Sonne abströmende Sonnenwind trägt das Magnetfeld in den Orbit. Durch die Rotation entsteht eine archimedische Spirale (Kurve, die bei der Bewegung eines Punktes mit konstanter Geschwindigkeit auf einem Strahl entsteht, der mit konstanter Winkelgeschwindigkeit rotiert) in der die Magnetfeldlinien verlaufen.

Hieraus ergibt sich ein in der Ekliptik resultierendes Magnetfeld, dass nach seinem Entdecker, dem amerikanischen Astrophysiker Eugene N. Parker, Parker-Spiralfeld genannt wird.

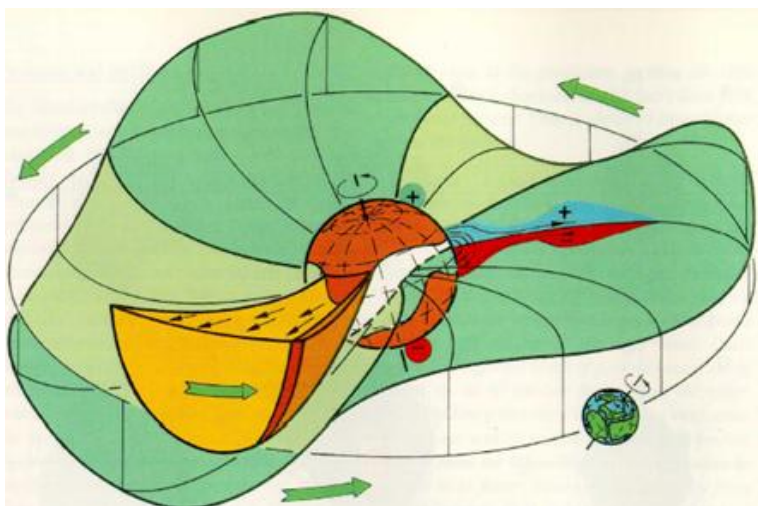


Abbildung 95 zeigt die Parker-Spirale im Sonnenminimum, Quelle: Alfvén (1977), aus Schwenn (1991). Zu der Sonnenneigung von  $7,2^\circ$  gegen die Ekliptik, nimmt auch das magn. Feld eine Neigung zur Ekliptik ein. Zwischen der magn. Nord- und Südhalfte entsteht eine neutrale Grenzschicht, die Heliosphärische Stromschicht genannt wird. Der plötzliche Wechsel in der Richtung des Magnetfeldes induziert dort einen elektrischen Strom (HCS). Sie trennt die nördliche und südliche Hemisphäre magnetisch. Die HCS ist wie das IPF den

solaren Zyklen unterworfen und passt sich diesen an.

Die HCS ist folglich ein Flächenstrom, der die Sonne mehr oder weniger scheibenförmig umgibt (solares Minimum) und in der eine Umkehr der horizontalen Magnetfeldrichtung stattfindet. Mit zunehmender solarer Aktivität wickelt sich die HCS mehr und mehr auf und nimmt die Form eines Ballerina-Röckchens an. Dabei verschiebt sich ihr relativer Winkel zur Ekliptik mehr und mehr.

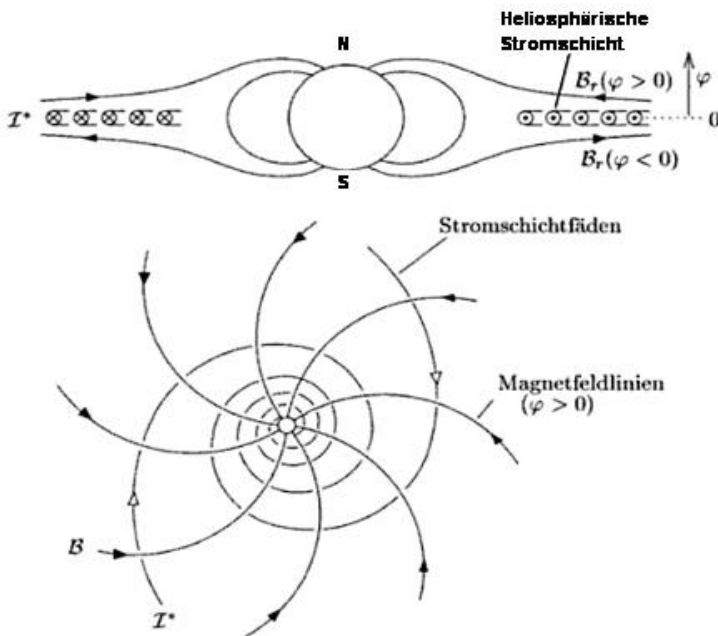
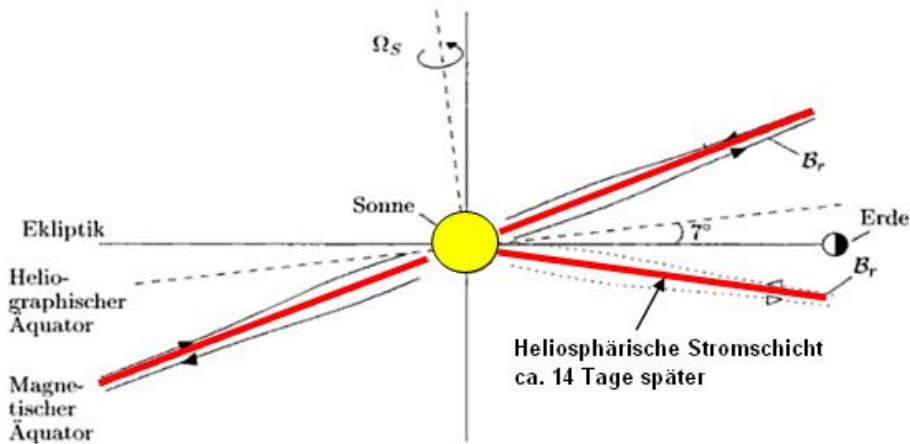
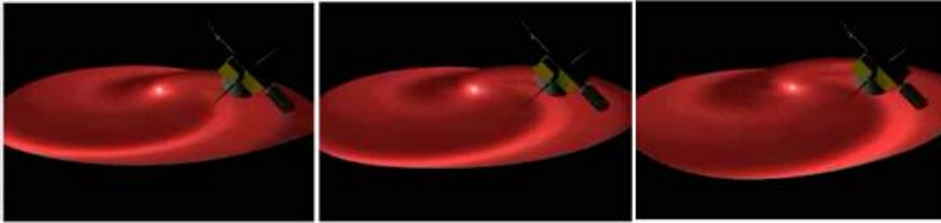


Abbildung 96 nach Alfvén, 1981, zeigt die Heliosphärische Stromschicht und das zugehörige Magnetfeld im Meridianschnitt und in der Aufsicht von Norden (magn. Südpol). Die Ströme fließen dabei entlang logarithmischer Spiralen (archimedische Spiralen), die senkrecht der magnetischen Feldlinien verlaufen. Adaptiert von "Physik des erdnahen Weltraums", Prof. Gerd W. Prölss, Universität Bonn.

Die Heliosphärische Stromschicht dreht sich mit der Sonne und braucht für einen Umlauf knapp 4 Wochen. In diesem Zeitfenster befindet sich die Erde einmal über und einmal unterhalb der HCS. Da sich die Erde in 365 Tagen einmal um die Sonne bewegt, gerät sie mehrfach abwechselnd in den Bereich von südlich, bzw. nördlich gerichteten Magnetfeldern der Sonne, wobei sie jedes Mal die Heliosphärische Stromschicht durchquert und die Erdatmosphäre Magnetströmen in der Summe von ca. 25.000 Ampere ausgesetzt ist.



Abbildungen 97 oben (Quelle: NASA) zeigen, wie sich die HCS mit der Sonnenrotation mit dreht und die Abbildung darunter (Quelle: Prof. Gerd W. Pröls) zeigt die Lage der HCS und des Sonnenäquators und dazu die Position der Erde einmal über und einmal unterhalb der HCS.

Da sich die Lage der HCS, wie bereits erwähnt, mit der solaren Aktivität ebenfalls ändert, entsteht ein komplexes Bild der Polaritäten und Potentialdurchgängen der Erde zur HCS und IPF.

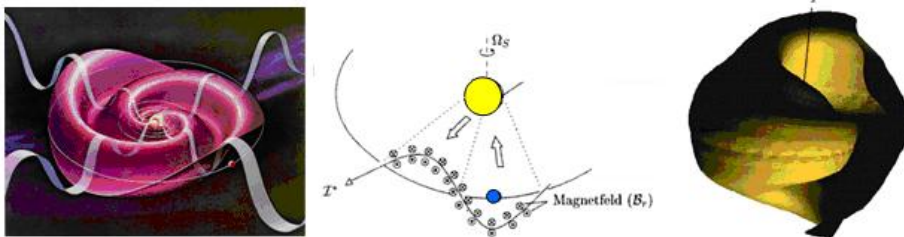


Abbildung 98: Links ist die Parker-Spirale zu sehen, die die HCS wiedergibt. Gut zu sehen, dass die HCS keine Ebene, sondern einem fliegenden Ballerina-Rock gleicht. Rechts ist die HCS während des Sonnenmaximum im März 2000 zu sehen, als sich auf Grund der starken magnetischen Aktivität ein zweiter Nordpol ausbildete. Die HCS hat sich immer mehr verdreht und die Form eines Schneckenhauses angenommen (Abbildungen, Quelle: NASA). In der Mitte ist die Verbiegung der Azimutkomponente der HCS auf der Höhe der Erdbahn abgebildet, wobei zusätzliche Magnetfeldsektoren entstehen, Quelle: Prof. Gerd W. Pröls.

Die Erde durchläuft demnach die HCS unregelmäßig, in Abhängigkeit zur Sonnenrotation und der magnetischen Aktivität der Sonne und des Sonnenwindes, der die HCS in den Raum treibt.

Die folgende Abbildung gibt einen räumlichen Eindruck über die sich ändernde Form der HCS bei einer Sonnenrotation. Sie zeigt die HCS auf die Sonnenoberfläche projiziert und damit im Schnitt.

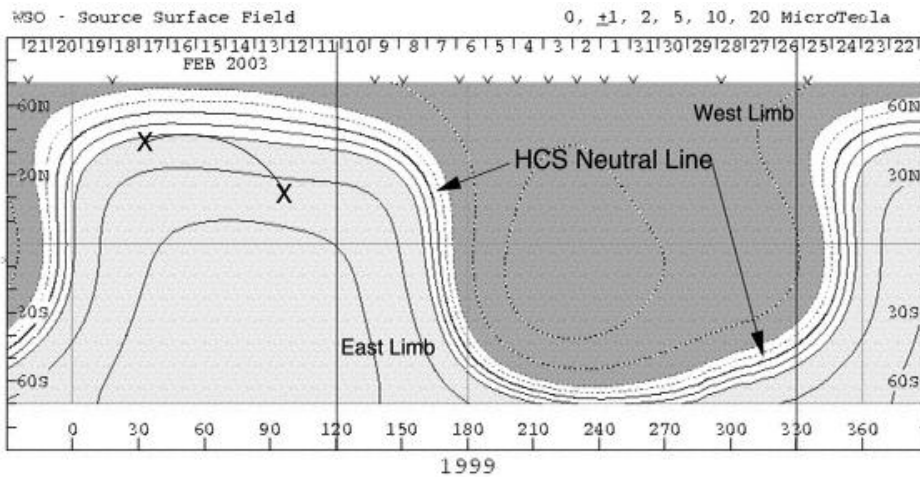


Abbildung 99 zeigt die Heliosphärische Stromschicht im Schnitt während einer Sonnenumdrehung nach Hoeksema & Scherrer, 1996 (Quelle: <http://wso.stanford.edu/synsource.html>). Gut ist ihr räumlicher Wellencharakter zu erkennen, der sich entsprechend im Sonnensystem ausbreitet und den die Erde bei ihrem Umlauf um die Sonne durchquert.

Anhand von Raumsondenmessungen entsteht ein ungeordnetes zeitliches Polaritäts-, bzw. Begegnungsmuster der Erde zum Interplanetarischen Feld und zur Heliosphärischen Stromschicht.

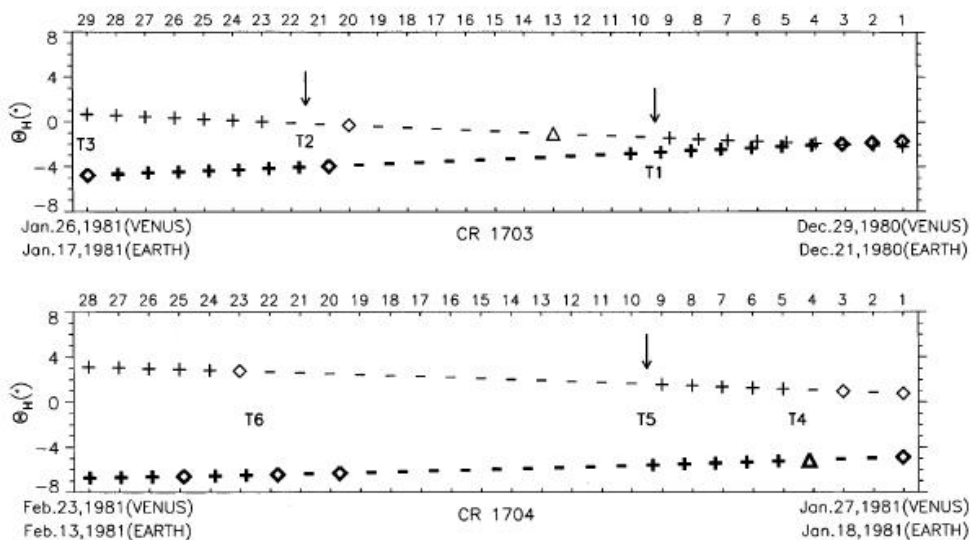


Abbildung 100 zeigt die Polaritäten des Interplanetarischen Feldes für die Venus (jeweils obere Datenreihe) und die Erde während der Sonnenrotation 1703 und 1704 (CR steht für Carrington Rotation). Die Daten für die Venus stammen vom Pioneer Venus Observer (PVO-Daten), Quelle: Ma et al., "Heliospheric current sheet inclinations at Venus and Earth", Ann. Geophysicae 17, 642-649 (1999). Als Bezugspunkt dient der Winkel zum Sonnenbreitengrad, also zur Lage der Sonne ( $\theta_H$  = heliographic latitude). Anhand solcher Vergleichsmessungen lässt sich das räumliche Aussehen der Heliosphärischen Stromschicht bestimmen. Sie zeigen aber auch, wann die Erde (oder Venus) die HCS passierte. Dies ist bei jedem Poldurchgang der Fall, da die HCS beide Polhälften voneinander trennt.

Aus der Datenreihe oben ist ersichtlich, dass die Erde binnen weniger Tage



mehrmals die Heliosphärische Stromschicht passierte, bzw. auf dieser verweilte. Bei einem Wirkstrom auf die Erdatmosphäre von ca. 25.000 Ampere pro Erdhälfte ist davon auszugehen, dass diese Vorgänge nicht ohne Einfluss auf unser unmittelbares Wettergeschehen bleiben. Sowie es eine Kopplung zwischen der Magnetosphäre und der Ionosphäre der Erde gibt, so gibt es genauso eine Kopplung zwischen der Magnetosphäre und den geladenen Teilchen in der Stratos- und Troposphäre.

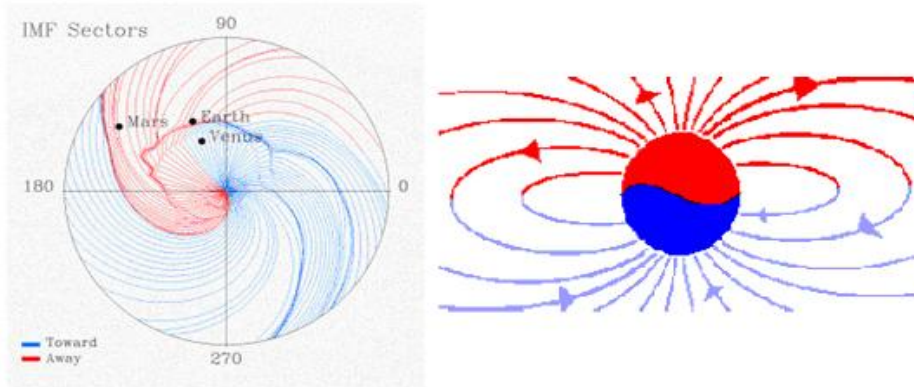


Abbildung 101: Die Feldlinien des Interplanetarischen Magnetfeldes weisen in ihrem Verlauf einmal von der Sonne weg (away, positive Polarität) und einmal zur Sonne hin (toward, negative Polarität, oben). Entsprechend richtet sich die Polarität des Interplanetarischen Magnetfeldes in eine Nord- und Südpolkomponente aus, rechts. Dazwischen verläuft die HCS. Abbildung 101 links zeigt schematisch das spiralförmige Magnetfeld in vier Sektoren unterteilt.

Abbildung 101 verdeutlicht, dass die Erde binnen kurzer Zeit mehrmals die Grenzsichten und somit die HCS passiert. Die HCS ist einem ständigen Wechsel unterzogen, wobei es während einer Sonnenrotation nur zwei Sektoren geben kann (ruhige Sonne). Ein Wechsel von Plus (die beiden oberen Sektoren im Bild) nach Minus (die beiden unteren Sektoren) und dann wieder zurück. Oder 4 Sektoren, wie im Bild zu sehen. Ein Wechsel von 1Plus nach 1Minus, wieder zurück aber nach 2Plus, dann nach 2Minus und schließlich zurück zum ersten Sektor.

In den ACE-Diagrammen (ACE = Advanced Composition Explorer-Satellit) wird dies in den phi-Diagrammen gemessen. Magnetstürme auf der Erde fallen während einem HCS-Durchgang besonders stark aus. Dies lässt Rückschlüsse zu, dass es starke Wechselbeziehungen zwischen der HCS und der Magnetosphäre der Erde gibt. Durch deren Kopplung zu den geladenen Teilchen in den darunter liegenden Atmosphärenschichten wiederum unmittelbare Einflüsse der HCS auf die Stratos- und Troposphäre, was wiederum nicht ohne Einfluss auf das Wetter sein kann.

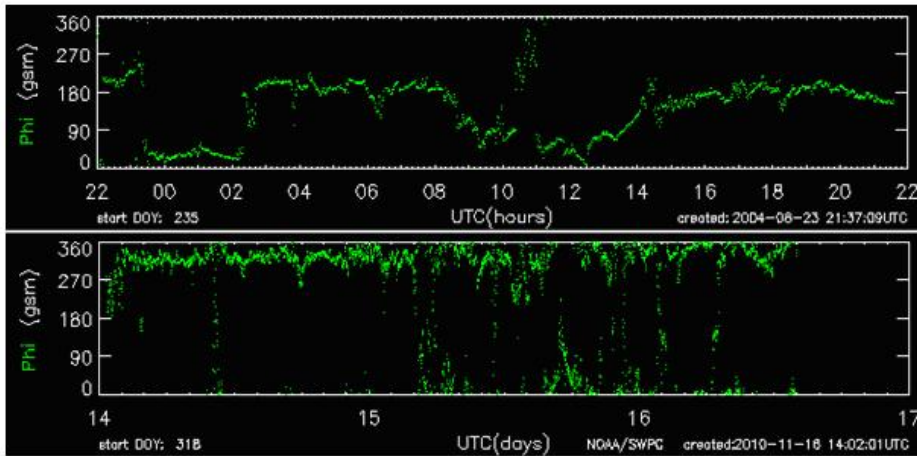


Abbildung 102: Die grüne Kurve phi zeigt die HCS für einen Tag am 22. August 2004 (23. Sonnenzyklus) und im Zeitraum vom 14.11. – 16.11.2010 (24. Sonnenzyklus). Ein Wechsel der Polarität (Winkel phi) findet dann statt, wenn ein Wechsel zwischen  $180^\circ$  und  $360^\circ$ , bzw.  $0^\circ$  oder umgekehrt stattfindet. Zur Interpretation der Messkurve ist zu beachten, dass die Kurve vor und nach einem Wechsel einige Tage konstant sein muss. Die Stanford University (<http://wso.stanford.edu/SB/SB2.html>) gibt hierzu die folgende Bedingung an (++++ : - - - - ). Ein Durchgang durch die HCS dauert teilweise einen ganzen Tag. Kurz vor, während und nach einem HCS-Durchgang verursachen solare Ereignisse besonders starke Wechselwirkungen mit dem Erdmagnetfeld!

Seit Svensmark ist bekannt und durch CERN bestätigt, dass geladene Aerosolpartikel, die verstärkt durch kosmische Strahlung entstehen, bis zu 10-mal so effektiv in der Bindung von Regentropfen sind als ungeladene. Bei jedem Durchgang durch die HCS wirkt auf die geladenen Partikel in der Tropo- und Stratosphäre (Kopplung Magnetosphäre zu den geladenen Teilchen in der Stratos- und Troposphäre) durch den Stromfluss eine Kraftkomponente, die die Verteilung der geladenen Aerosolpartikel verändert. Es ist davon auszugehen, dass es zu örtlichen Konzentration, sowie zu Verdünnungen kommt, was nicht ohne unmittelbaren Einfluss auf das Wettergeschehen in der Atmosphäre bleiben kann.



Abbildung 103: Atmosphärenereignisse wie die Polarlichter (Alaska Knik Valley während des starken geomagnetischen Sturms am 08. April 2003, NASA) sind lediglich die sichtbaren Auswirkungen solarer Einflüsse auf die Erdatmosphäre. Diese Einflüsse sind, wie geschildert, weitaus komplexer und bedeutender. Der Sonnenwind regt in der Ionosphäre  $O_2$ -Moleküle an, die diese Energie im Wellenbereich des grünen Lichts wieder abgeben.

Bei den bisherigen Betrachtungen wurde davon ausgegangen, dass die HCS im Querschnitt, also in ihrer Dicke homogen ist – gleiche Stärke, wie



gleichbleibende Richtung. Hiervon kann aber nicht ausgegangen werden, da sowohl der Sonnenwind, der die HCS mit sich führt, als auch die magnetische Aktivität der Sonne, die ihre Stärke bestimmt, nicht homogen sind. Die magnetische Aktivität der Sonne prägt denn auch ihr Muster in die HCS. Deren Strukturen formen das interplanetare Medium und tragen zu ihrer Dynamik bei.

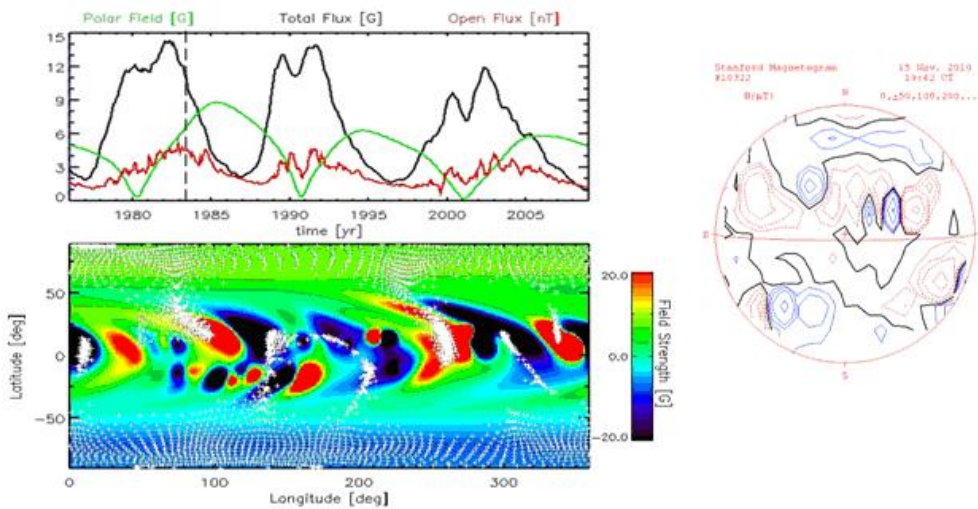


Abbildung 104 oben zeigt Total und Open Flux der IPF während der Sonnenzyklen 21 – 23, sowie das Polarfeld der Sonne. Darunter die Feldstärke des solaren Magnetfeldes als Momentaufnahme im Jahr 1984 (gestrichelte Linie in der Abbildung darüber). Der Open Flux ist das Interplanetarische Magnetfeld (seine Feldstärke), der Total Flux, das Magnetfeld der Sonne und das Polar Field, das Polare Magnetfeld der Sonne, Quelle:

([http://www.mps.mpg.de/projects/solar-mhd/research\\_new.html](http://www.mps.mpg.de/projects/solar-mhd/research_new.html)). Die zeitlichen und örtlichen Inhomogenitäten des solaren Magnetfeldes bewirken, dass deren Fortsetzung im interplanetarischen Raum, das IPF, sowie deren Grenzschicht, die HCS ebenfalls inhomogen sind. Die Abbildung rechts zeigt das Magnetogramm der Sonne für einen bestimmten Zeitpunkt (15.11.2010, 19:42 UT), Quelle: WSO, Stanford University. Das dort zu sehende und sich fortwährend ändernde Magnetfeldmuster der Sonne wird über den Sonnenwind in den interplanetaren Raum und somit in die Heliosphärische Stromschicht getragen.

Des Weiteren besteht der Sonnenwind und das mit ihm verbundene IPF nicht nur aus einer polarisierten Teilchenart, sondern aus beiden. Aus positiv geladenen Protonen (Wasserstoffatome ohne Elektron), bzw.  $\alpha$ -Teilchen (Helium-Kerne, 5%) und aus negativ geladenen Elektronen. Beide Teilchenklassen bewirken Stromflüsse, die sich mit dem Sonnenwind, entsprechend ihrer Verteilung überlagern und die HCS entsprechend ihrem Verteilungsmuster beeinflussen. Hinzu kommt, dass sich der Sonnenwind mit Überschallgeschwindigkeit (der im Plasma vorherrschenden Schallgeschwindigkeit) ausbreitet, was zu Turbulenzen in der Schicht führt.

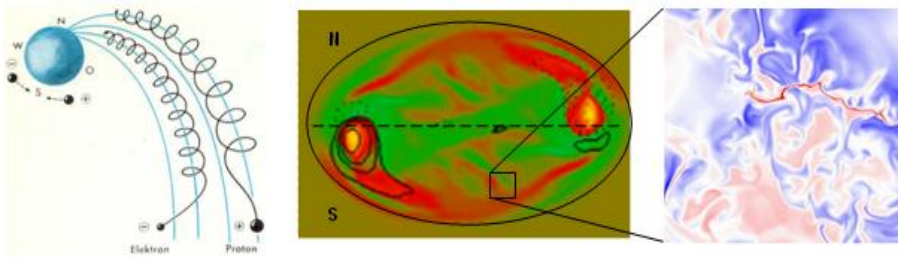


Abbildung 105 links zeigt die unterschiedliche Ablenkung positiv und negativ geladener Teilchen an Magnetfeldlinien. Die Abbildung in der Mitte zeigt einen Schnitt durch die HCS. Die Farben geben die möglichen Variationen der magnetischen Stromstärke an. Die Dicke beträgt mehrere 10.000 km. Die Abbildung rechts soll als Vergleich zeigen, wie auf kleinen Skalen sich die magnetischen Turbulenzen in der HCS widerspiegeln und ein komplexes Muster des magnetischen Stromflusses in der HCS bewirken.

Bei jedem Durchgang der Erdatmosphäre durch die HCS ist die Atmosphäre ungleichen Kraftkomponenten ausgesetzt, die der inhomogene magnetische Strom der HCS auf die Magnetosphäre und deren Kopplung mit den geladenen Teilchen in der Atmosphäre ausübt. Es ist davon auszugehen, dass es örtlich zu Ansammlungen, sowie Ausdünnungen von elektr. geladenen Aerosolpartikeln kommt, was nicht ohne Auswirkungen auf die Kondensation, damit Wolkenbedeckung und auf das Wetter bleiben kann. Es ist bekannt, dass kurz vor, während und kurz nach einem HCS-Durchgang solare Ereignisse besonders stark mit dem Erdmagnetfeld wechsel wirken.

### Interplanetares Magnetfeld (IPF)

Das Interplanetarische Magnetfeld, welches bei Messungen auch als Open Flux bezeichnet und in Nanotesla angegeben wird, ist das von der Sonne stammende Magnetfeld, welches sich im interplanetaren Raum, also dem Raum, der nicht von den Planeten bestimmt wird, ausbreitet. Es wirkt in der gesamten Heliosphäre und reicht bis an die Grenzen des Sonnensystems, zur Heliopause, welche ca. 22,5 Milliarden km von der Sonne entfernt ist.

Im Bereich des Interplanetarischen Magnetfeldes wird ein Großteil der geladenen Partikel der kosmischen Strahlung abgelenkt. Das Interplanetarische Magnetfeld ist somit ein Schutz der Planeten vor dem Bombardement der hochenergetischen kosmischen Strahlung.

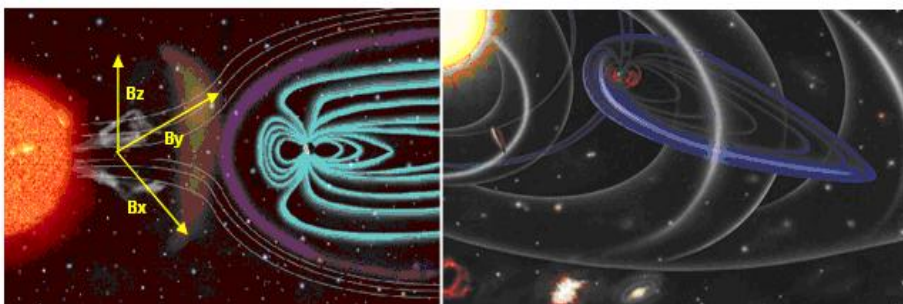
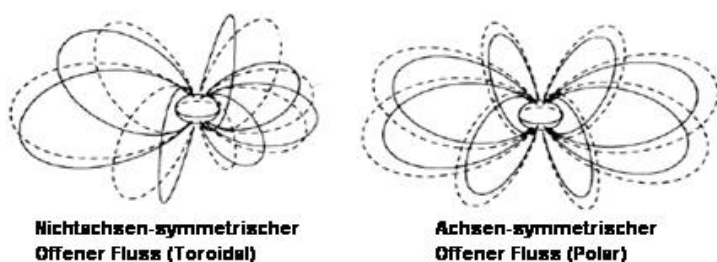


Abbildung 106 links zeigt die Auswirkungen der IPF auf das irdische

Magnetfeld. Das IPF lässt sich im Raum in drei Koordinaten zerlegen, wobei zwei in der Ekliptik liegen und eine ( $B_z$ ) senkrecht dazu. Die Änderung dieser Komponente ist besonders interessant, weil sie parallel zum Erdmagnetfeld verläuft und daher mit diesem besonders wechselwirkt. Abbildung 106 rechts zeigt, wie sich die Feldlinien des IPF im Raum ausbreiten.

Wie bereits bei der HCS festgehalten, ist das IPF ein fester Bestandteil des Sonnenwindes und wird durch diesen in Form von Parker-Spiralen (ruhige Sonne) in den Raum ausgebreitet.

Sonnenwind und IPF stehen in direktem Zusammenhang mit der Sonnenaktivität, wobei der Sonnenwind in zwei Komponenten aufgeteilt wird, den schnellen Sonnenwind mit Teilchengeschwindigkeiten von 500 – 800 km/s, aus den koronalen Löchern und der daher eine große Beschleunigung erhält und dem langsamen Sonnenwind mit Teilchengeschwindigkeiten von 250 – 400 km/s, der hauptsächlich aus dem Streamer Belt (benannt nach Aufnahmen während einer Sonnenfinsternis) der Korona stammt. Die Sonnenwinddichte in Erdnähe beträgt  $3 \times 10^6 - 1 \times 10^7$  Teilchen/m<sup>3</sup>. Während die Stärke des IPF (Open Flux) in Nanotesla angegeben wird, wird der Sonnenwindfluss in Teilchen/m<sup>3</sup> und die Stärke des Sonnenwindes in Nanopascal angegeben. Das magnetische Feld aus den aktiven Regionen der Sonne wird Nichtachsen-symmetrischer offener Fluss (Nonaxisymmetric Open Flux) und das magnetische Feld aus den Polarregionen, Achsensymmetrischer offener Fluss (Axisymmetric Open Flux) genannt, weil dieses Feld zur Achse der Sonne symmetrisch verläuft (folgende Abbildung).



Nun kann die Frage aufkommen, warum das solare Magnetfeld überhaupt in Komponenten aufgeteilt werden muss, weil doch auf die Erde das gesamte Magnetfeld der Sonne wirkt. Die besondere Stellung der  $B_z$ -Komponente des IPF wurde bereits genannt. Für die Wirkung der kosmischen Strahlung auf die Erde ist dagegen, dass sich in Bahnebene, in der sich die Planeten bewegen, ausbreitende Magnetfeld der Sonne maßgeblich. Dies ist der Nonaxisymmetric Open Flux. Die Sonnenwindstärke wiederum hängt von beiden (polar und toroidal) ab, wobei die Teilchen mit höherer Geschwindigkeit aus dem Polarfeld, den koronalen Löchern kommen. Die Aktivität des Polarfeldes zum Total und Open Flux ist genau umgekehrt und verschwindet im Sonnenmaximum. Aus der Sonnenwindgeschwindigkeit lässt sich daher nur teilweise auf die Aktivität der Sonne schließen.

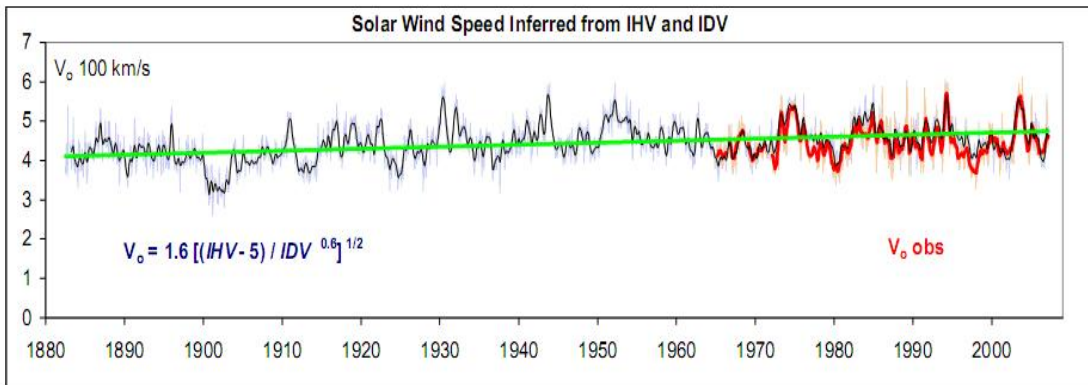


Abbildung 107 (Quelle: <http://www.leif.org/research/files.htm>) zeigt den 27-Tage-Durchschnitt der Sonnenwindgeschwindigkeit in 100 km/s von 1880 – 2009, nach Leif Svalgaard. Blau, aus IHV (**I**nter-**H**our **V**ariability-Index) und IDV (**I**nter **D**iurnal **V**ariability) rekonstruiert; rot sind direkt gemessene Werte. In der Sonnenwindgeschwindigkeit sind zwar die solaren Grundzyklen erkennbar, jedoch lassen sich daraus allein keine Rückschlüsse auf die globalen Temperaturen schließen. Hierzu bedarf es weiterer Parameter.

Nach Daten der NASA hat der Sonnenwind in der ersten Dekade des 21. Jahrhunderts stark abgenommen, was, wie bereits mehrfach gezeigt, auf die derzeit schwache solare Aktivität zurück zu führen ist. So zeigt Abbildung 108 links die Stärke des Sonnenwindes und Abbildung 108 rechts, wie sich mit ihm oder genauer, der solaren Aktivität (mit ihr hängt bekanntlich der Sonnenwind zusammen), die globalen Temperaturen variieren.

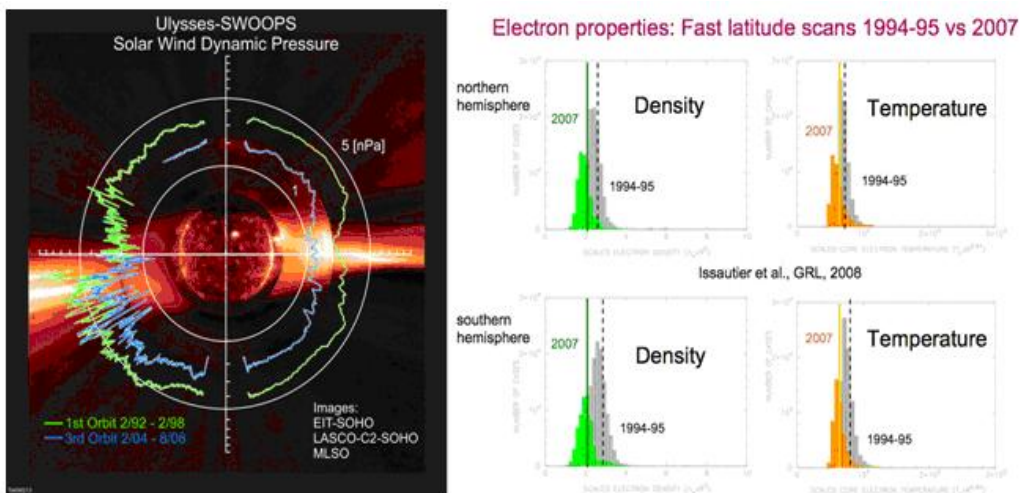


Abbildung 108: Links ist anhand der Ulysses-Daten die Stärke des Sonnenwindes (Produkt aus Teilchengeschwindigkeit und Koronatemperatur) im Zeitraum von 02/92 – 02/98 (grün) und von 02/04 – 08/08 (blau) als Raumdiagramm dargestellt. Da die Koronatemperatur in direktem Maße die magnetische Aktivität der Sonne wiedergibt – die Korona wird von dieser aufgeheizt (siehe Rekonnektion und Korona) ist die Sonnenwindstärke ein Maß für die solare Aktivität. In Abbildung links, zeichnen sich scharf die beiden koronalen Löcher in Nord und Süd ab, Quelle: NASA, “Solar Wind Loses Power, Hits 50-Year Low“, 23.09.2008. Deutlich ist erkennbar, dass die Sonne zwischen 2004 und 2008 ruhig ist. Rechts ist als Histogramm dargestellt, die Stärke und Verteilung des Sonnenwindes, getrennt für die nördliche und südliche

Hemisphäre der Erde und daneben, ebenfalls als Histogramm, die globalen Erdtemperaturen. Globale Temperatur und Sonnenaktivität sind nach den Untersuchungen der NASA deckungsgleich.

Auch diese Abbildungen zeigen, dass die stark zurück gehenden Temperaturen, wie wir sie übrigens wahrgenommen haben (nicht wie die WMO uns diese verkaufen will) der letzten Jahre auf die verringerte Sonnenaktivität zurückzuführen sind. Die Ulysses-Daten belegen, dass der mittlere Sonnenwinddruck um 20% zurückging, was in erster Linie auf die geringere Temperatur der Korona und auf die verringerte Sonnenwindstärke (Teilchen/m<sup>3</sup>) zurückzuführen ist. So wurde der Sonnenwind im Vergleichszeitraum 13% kühler und 20% geringer. Nach Messungen der NASA schwächte sich das Magnetfeld der Sonne in dem betrachteten Zeitraum um 30% ab.

Es wurde bereits genannt, dass der Bz-Komponente des IPF eine besondere Bedeutung zukommt, da diese Komponente mit dem Erdmagnetfeld am stärksten wechselwirkt. So sind Polarlichter, die ein direkt beobachtbares Zeichen starker Sonnenaktivität sind, umso wahrscheinlicher, je stärker das IPF und je negativer deren Komponente, die Bz ist. Dies hängt damit zusammen, dass südlich (negativ) gerichtete Magnetfelder des IPF, die antiparallel zu den Magnetfeldlinien des Erdmagnetfeldes verlaufen, das Magnetfeld der Erde schwächen, so dass es dabei zu einem magnetischen Kurzschluss kommt (bei „verschmelzen“ der Feldlinien). Das magn. Schutzschild der Erde ist dann durchlöchert und geladene Teilchen können bis in niedere Breiten in tiefere Schichten der Erdatmosphäre gelangen. Nach Untersuchungen der NASA gelangen bis zu 20-mal mehr geladene Teilchen dann in die unteren Atmosphärenschichten!!

Bekanntlich sind die Auswirkungen der Teilchenströme in den Polregionen am größten, weil dort die magnetischen Feldlinien ausfließen. Daher liegt es nahe, zu untersuchen, inwieweit dies Auswirkungen auf die dortigen Klimaparameter hat, wenn postuliert wird, dass geladene Atmosphärenteilchen Einfluss auf das Wetter und damit auf die Temperaturen haben.



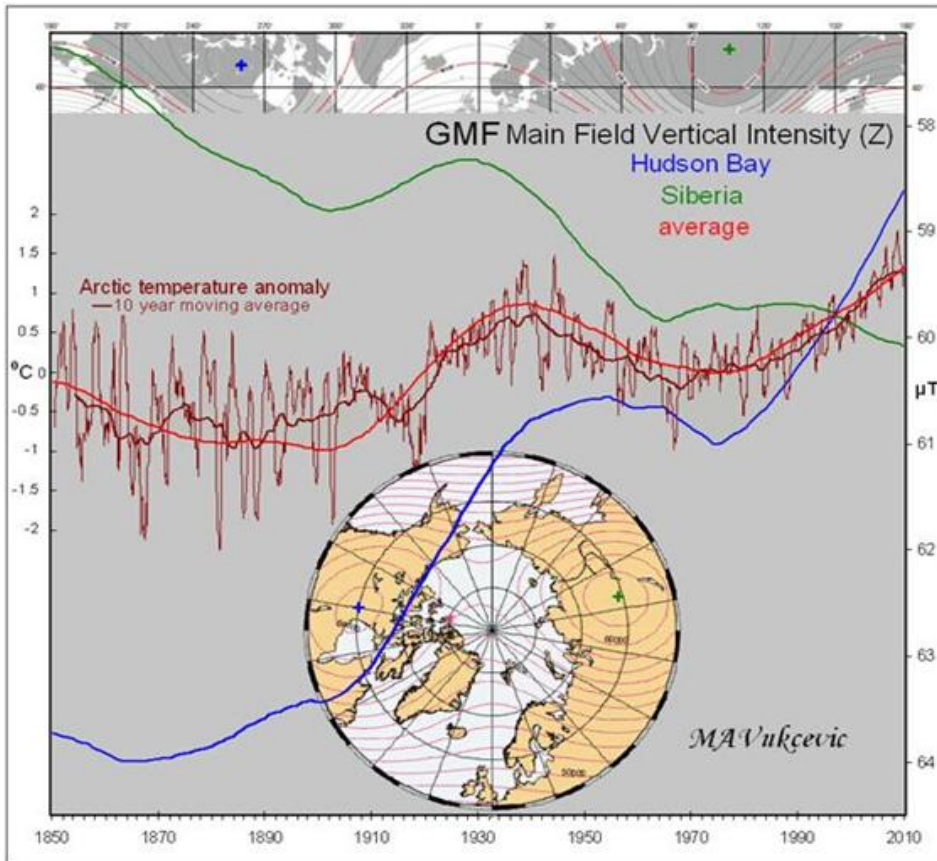


Abbildung 109: Zu sehen (Quelle: <http://www.appinsys.com/GlobalWarming/EarthMagneticField.htm>) sind jeweils die vertikale (Z) Komponente des Erdmagnetfeldes. Diese steht in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Interplanetarischen Magnetfeld (GMF = Geo-Magnetic Field). Gewählt wurden zwei Punkte, die sich gegenüberstehen (rotes und grünes Kreuz) und deren Resultierende nahe dem magnetischen Nordpol liegt (rote Kurve). Der Temperaturgang der arktischen Temperaturen stimmt exakt mit der magnetischen Aktivität und damit mit der Sonnenaktivität überein.

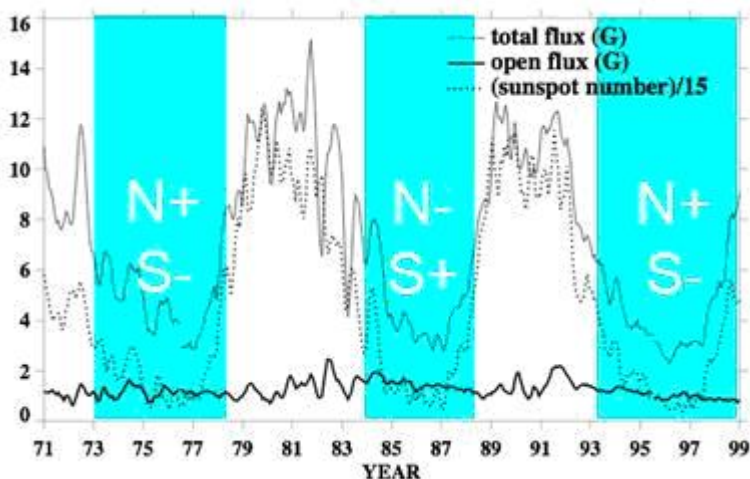


Abbildung 110a: Für aktuelle Temperaturtrends werden meist 30-Jahres Vergleiche herangezogen, da dieses Zeitfenster per Definition als Klima definiert ist. Werden dazu die vergangen 30 Jahre verwendet, so fällt dieser Zeitraum mit der obigen magnetischen Polarität des Sonnenmagnetfeldes zusammen. In diesem Zeitraum (bis 2009) befand sich am geographischen Nordpol

der Sonne, zweimal der magnetische Nordpol. Dies bedeutet im solaren Minimum, dass die Feldlinien antiparallel zum Erdmagnetfeld ausgerichtet sind.

Antiparallele Ausrichtung der IPV-Feldlinien führt bekanntlich zu einer Schwächung des Erdmagnetfeldes, wodurch mehr geladene Teilchen in die unteren Atmosphärenschichten gelangen. Nun ist das solare Magnetfeld kein Dipol, wie bei der HCS gesehen und die Erde nicht permanent im Bereich einer Polarität, insbesondere nicht, wenn sich die Aktivität der Sonne erhöht, bei ruhiger Sonne gilt indes das obige Polarisationsmuster und es wurde auch nur für die Zeiträume im Sonnenminimum blau hinterlegt.

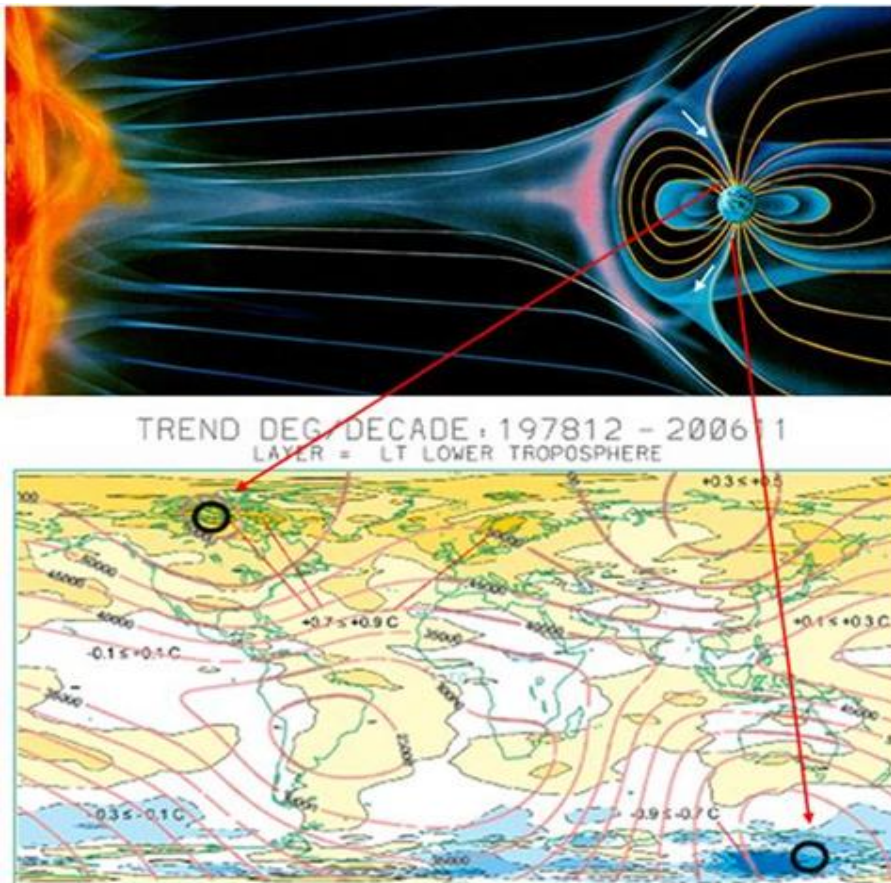


Abbildung 110b, Quelle:

(<http://www.appinsys.com/GlobalWarming/EarthMagneticField.htm>) zeigt vereinfacht die Wechselwirkung des IPV mit dem Erdmagnetfeld (weiße Pfeile) und den Verlauf der Feldlinien im solaren Minimum, wenn magnetischer und geographischer Nordpol räumlich zusammen liegen. Darunter sind die globalen Temperaturanomalien in der Fläche für den Zeitraum 12/1978 – 11/2006 zu sehen. Am magnetischen Nordpol (Kreis), wo die Feldlinien und somit die geladenen Partikel einfließen, kommt es zu einer Temperaturerhöhung und am Südpol, wo die Feldlinien heraustreten, also keine Partikel einfließen, kommt es zu einer deutlichen Temperaturabnahme. Klimaschaukel Arktis-Antarktis!

Die polare Temperaturverteilung auf der vorherigen Seite ist ein Hinweis, dass geladene Aerosolpartikel unmittelbar auf Wetter und damit auf die Temperaturen Einfluss nehmen. Dort, wo die magnetischen Feldlinien und mit ihnen der ionisierte Partikelstrom einfließt, kommt es laut NASA ([http://www.nasa.gov/mission\\_pages/themis/news/themis\\_leaky\\_shield.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/themis/news/themis_leaky_shield.html)) zu

einer 20-fachen Erhöhung der ionisierten Sonnenpartikel und dort kommt es auch zu der deutlichsten Temperaturzunahme. Im Gegenpol stattdessen zu der deutlichsten Temperaturabnahme. Die Erkenntnis aus der Abbildung, gibt auch einen Ansatzpunkt, für die Klimaschaukel zwischen der Arktis und der Antarktis auf kurzen Zeitskalen theoretisch zu begründen.

Dass es an den Polen zu einer Verdichtung, also Ansammlung von geladenen Partikeln kommt, liegt zum einen, am Verlauf der magnetischen Feldlinien und zum anderen, dass das Polarlichtgebiet zwischen 1.000 und 4.000 km Höhe auf geladene Teilchen wie ein elektrostatischer Beschleuniger wirkt.

Elektronen und Ionen werden aufgrund ihrer unterschiedlichen elektrischen Ladung dabei entlang der Feldlinien in entgegengesetzte Richtungen beschleunigt. Messungen haben ergeben, dass die Beschleunigung in stationären horizontalen Schichten von 10-20 km vertikaler Dicke erfolgt (Quelle: MPG). Dabei werden Elektronen abwärts beschleunigt und können dabei Moleküle ionisieren, wobei diese dann eine negative Ladung tragen.

Es gibt weitere Belege, die zeigen, dass die Wolkenbedeckung und damit die Kondensationskeime, bzw. die Aerosole, die als Voraussetzung für die Entstehung von Wasserpartikeln in der Atmosphäre notwendig sind, von der Polarität des solaren Feldes abhängen. Dies sind die Daten über die globale Wolkenbedeckung von dem ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project). Nach Svensmark ist bereits bekannt, dass die Wolkenbedeckung mit der kosmischen Strahlung variiert (Abbildung 111). Die kosmische Strahlung wiederum ist gegenläufig zur solaren Aktivität und der 11-jährige Schwabe-Zyklus zeichnet sich darin eindeutig ab.

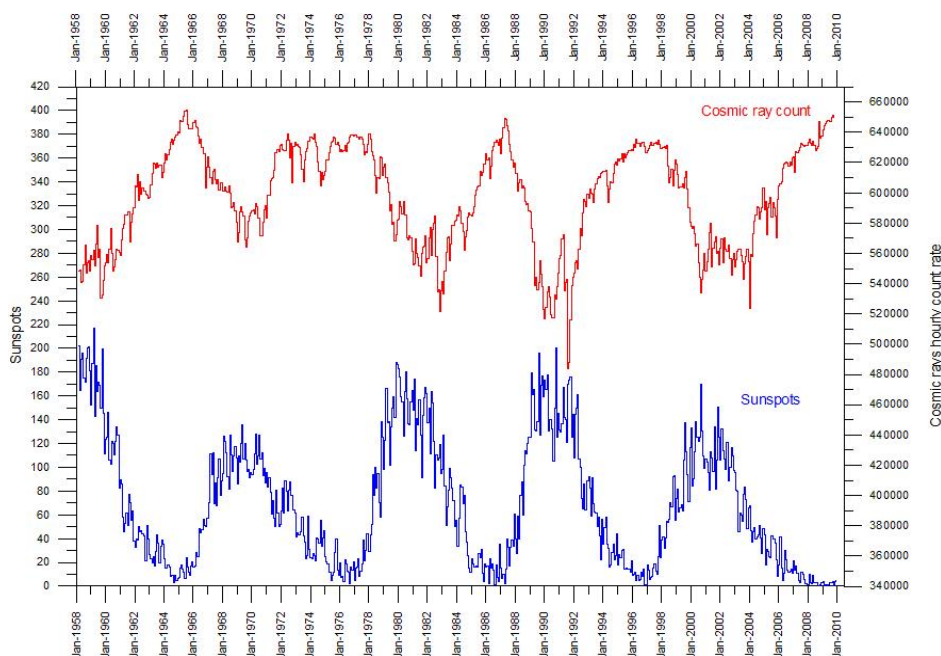


Abbildung 111 (<http://www.climate4you.com/Sun.htm>) zeigt die Sonnenfleckenzahl und die kosmische Strahlung (Neutronen-Monitor) von Januar 1958 – 06. November 2009. Deutlich ist zu sehen, dass eine erhöhte Sonnenaktivität die Erde vor kosmischer Strahlung abschirmt. Während eines solaren Aktivitätsminimas gelangt vermehrt kosmische Strahlung zur Erde.

Die physikalische Erklärung für diesen Zusammenhang ist in der folgenden Abbildung rechts bildhaft dargelegt.

Abbildung 112 ganz links zeigt das Magnetfeld der Sonne als Dipolfeld im solaren Minimum, aufgenommen von der Sonnensonde Ulysses (SWOOPS = Solar Wind Observations Over the Poles of the Sun). Daneben das Magnetfeld während dem Aktivitätsmaximum. Rechts ist der Verlauf der geladenen Partikel der kosmischen Strahlung an den Magnetfeldlinien der Sonne gezeigt. An aufgewickelten Magnetfeldlinien während aktiver Sonne, werden die Partikel abgelenkt und nach außen aus dem Planetensystem gestreut.

Dass die kosmische Strahlung im Gegenteil zur Sonnenaktivität verläuft, liegt in erster Linie am höheren Betrag der solaren Aktivität und weiter, dass das solare Magnetfeld nur im Aktivitätsminimum ein Dipolfeld darstellt, wogegen mit zunehmender Sonnenaktivität die Polaritäten (die ein- und ausfließenden Magnetfeldlinien, away, bzw. toward-IMF, siehe HCS) mehr und mehr vermischt werden und sich die magnetischen Feldlinien mehr und mehr aufwickeln.

Die folgenden Teile zeigen, wie sich das bisher theoretisch gezeigte, auf das Wetter- und Klimageschehen auswirkt.

Raimund Leistenschneider – EIKE

Teil 5 in Kürze

Übersicht über alle Teile:

[Teil 1 – Die Sonne bestimmt den Temperaturgang](#)

[Teil 2 – Die Sonne, der faszinierende Stern](#)

[Teil 3 – Sonnenflecken und ihre Ursachen](#)

[Teil 4a – Die Sonnenatmosphäre, Korona, Heliosphärische Stromschicht, interplanetares Magnetfeld](#)

[Teil 4b – Die Sonnenatmosphäre, Korona, Heliosphärische Stromschicht, interplanetares Magnetfeld](#)

[Teil 5 – Die variable Sonne](#)

[Teil 6 – Der Einfluss der Sonne auf unser Wetter/Klima](#)

[Teil 7 – Der Einfluss der Sonne auf die Wolkenbedeckung über Svensmark hinaus](#)

[Teil 8 – Zukünftige Temperaturentwicklung und deren Schwankungen](#)