

Erläuterungen zu den Panels des Weltraumwetters.

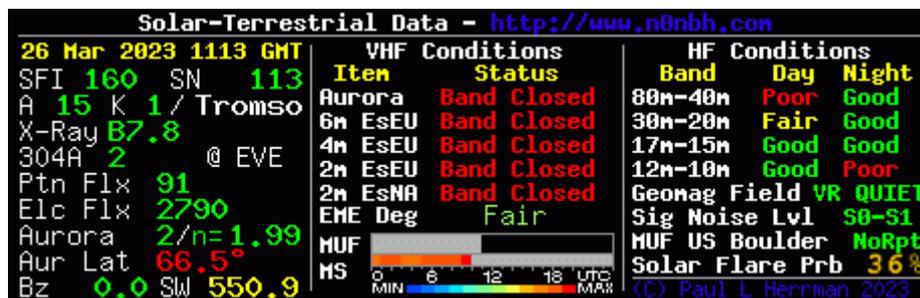
©2010 - Guenter Fred Mandel, DL4ZAO, www.dl4zao.de

Zur schnellen Einschätzung kann man sich an der farblichen Klassifizierung der Messwerte in den Panels orientieren:

Grün = gute Bedingungen, Gelb = grenzwertig, Rot = inakzeptabel

Wer sich etwas eingehender mit der Bedeutung der Messwerte beschäftigen will, für den sind nachfolgend einfache Erläuterungen zu den einzelnen Indizes und – soweit relevant – *in kursiver Schrift* die jeweiligen Auswirkungen auf den Amateurfunk aufgeführt.

Panel: Solar-terrestrische-Daten



SF I - Solarer Flux Index

Der Solare Flux Index ist ein Maß für die Aktivität der Sonne. Dabei misst man die Energie der von der Sonne ausgesandten Radiostrahlung mit der Wellenlänge von 10,7 cm (2,695 GHz) und rechnet sie in Flux Einheiten SFU um. In den Jahren des Sonnenfleckenminimums werden Fluxwerte um 70 Einheiten, im Sonnenfleckenmaximum oftmals über 200 Einheiten gemessen. Der Solare Flux und die Sonnenflecken-Relativzahl hängen eng miteinander zusammen. Zusammen mit dem K-Index ist der

solare Flux die wichtigste Beurteilungsgröße für DX-Ausbreitungsbedingungen auf Kurzwelle.

Bei zunehmender Sonnenaktivität verbessern sich die Ausbreitungsbedingungen auf Kurzwelle. Je höher die Werte des solaren Fluxes, desto besser sind die zu erwartenden reflektierenden Eigenschaften der Ionosphäre für Weitverbindungen auf höheren Bändern. Bei anhaltenden Fluxwerten von über 100 kann man eine Öffnung der höheren Kurzwellenbänder erwarten.

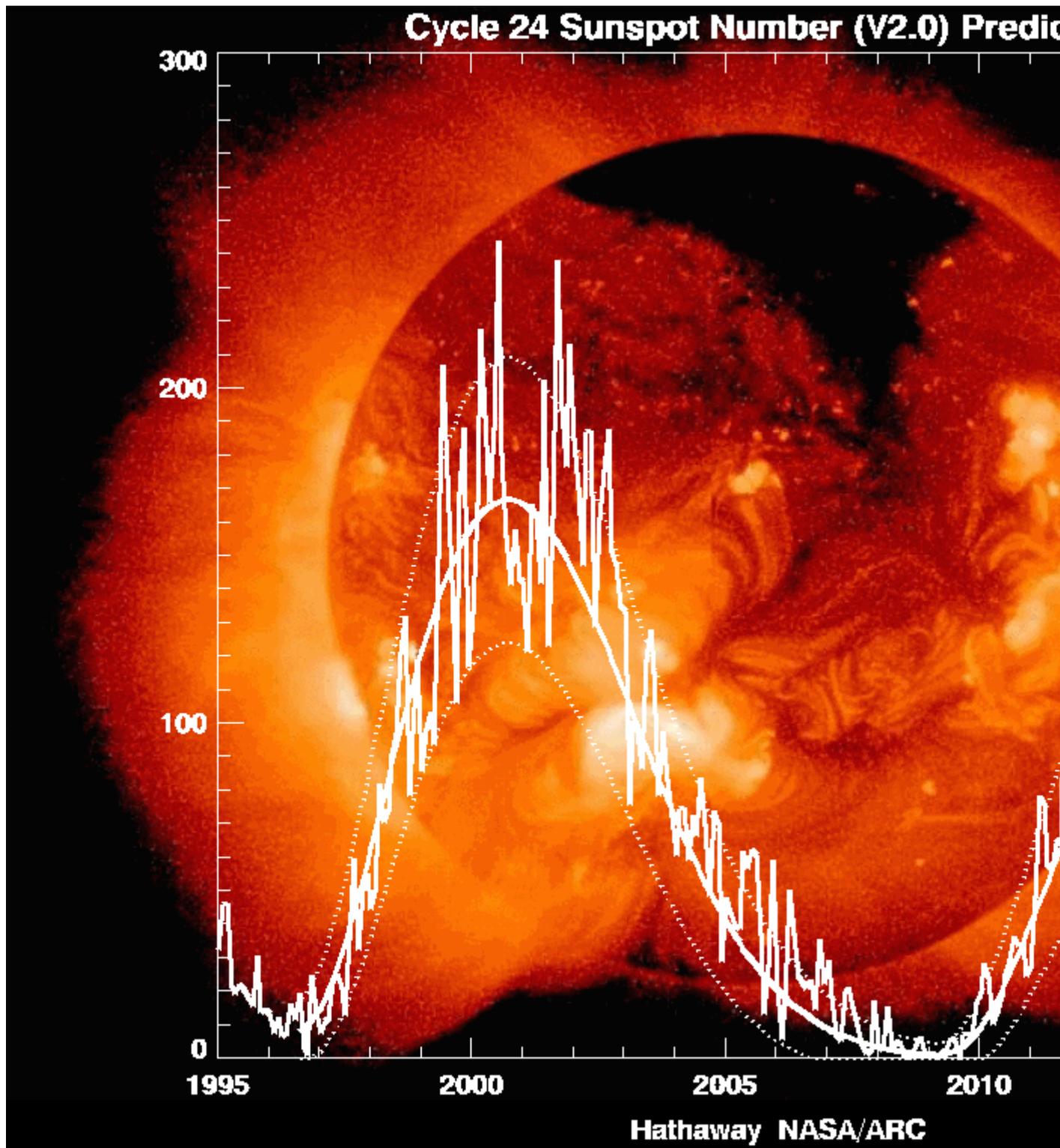
Die besten Bedingungen auf Kurzwelle sind bei Solaren Flux Indizes über 150 über mehrere Tage und K-Indizes von 2 und niedriger zu erwarten.

SN Sunspot Number - Sonnenflecken Relativzahl

Die Häufigkeit von (im sichtbaren Lichtbereich als dunkler erkennbaren) Sonnenflecken wird durch die Sonnenflecken Relativzahl (in Deutschland "R") erfasst. Sonnenflecken treten meist in Gruppen aber auch vereinzelt auf. Man zählt zuerst die Gruppen (G) von Sonnenflecken, die auf der Sonne zu sehen sind. Dann nochmals alle Flecken (E), auch wenn sie einzeln sind bzw. bereits schon in einer gezählten Gruppe enthalten sind. Dann nimmt man die Anzahl der Einzelflecken (Zahl E) und addiert dazu das Zehnfache der Anzahl der Gruppen (Zahl G) und erhält daraus die Sonnenflecken Relativzahl. Ist kein Fleck zu sehen, dann ist die Relativzahl gleich Null. Zur Beurteilung der Sonnenaktivität wird heute anstatt der subjektiven Zählung von Sonnenflecken die aussagekräftigere Messung des solaren Fluxes bevorzugt.

Je höher die Sonnenflecken Relativzahl, desto besser sind die zu erwartenden Eigenschaften der Ionosphäre für Weitverbindungen auf höheren Bändern. Maxima und Minima der Anzahl der Sonnenflecken unterliegen einem elfjährigen Zyklus. Das nachfolgende Bild zeigt die gemessenen Kurven der

Sonnenfleckenanzahl und die Vorhersagekurve des weiteren Verlaufs. Wie man erkennt, soll das kommende Sonnenflecken-Maximum 2012/13 erreicht werden und deutlich geringer ausfallen als das vorherige Maximum.



X-Ray Flares - Röntgenstrahlung durch Sonneneruptionen

Ein solarer Flare ist eine Eruption auf der Sonnenoberfläche, bei der gewaltige Energiemengen als Röntgenstrahlung (X-Ray) und als energiereiche Ultraviolettstrahlung (UV) ausgesandt werden. Von der Erde aus sind Flares als Bereiche großer Helligkeit und als Quellen starker Strahlung in einem weiten Spektrum zu beobachten. Die Energie der gemessenen Röntgenstrahlung von Flares wird nach ihrer Intensität in vier Klassen A - B - C - M - X eingeteilt. Jede Klasse ist nochmals in einen Zahlenwert von 0 bis 9 unterteilt. (Man spricht zum Beispiel dann von einem M6,5 Flare). Flares dauern von wenigen Minuten bis zu mehreren Stunden.

Flares führen oft in Folge koronare Massenauswürfe (CME) nach sich, bei denen große Mengen von energiereichen Partikeln explosionsartig in das All ausgestoßen werden. Die Magnetosphäre der Erde schirmt uns zum Glück gut von dieser Strahlung ab. Die empfindliche Elektronik von Satelliten kann aber durch den Teilchenbeschuss beschädigt werden.

Nach starken Flares in Richtung der Erde kann es zu einem Totalausfall aller Kurzwellen Langstrecken-Verbindungen kommen, der einige Minuten bis zu mehreren Stunden dauern kann (deutsch: Mögel-Dellinger-Effekt, engl.: Sudden Ionospheric Disturbance, SID). Die ausgesandte Röntgenstrahlung führt zu einer verstärkten Ionisation der niedrigen D-Schicht. Diese verstärkte Ionisation der D-Schicht bewirkt eine starke Absorption der Kurzwellen auf dem Wege zu den höheren Schichten (E, F1, F2) bis hin zur Totaldämpfung. Niedrigere Frequenzen sind davon stärker betroffen als höhere. Der Mögel-Dellinger-Effekt tritt nur bei Funkverbindungen auf, die auf der Tagseite der Erde laufen.

A-Index - geomagnetische Unruhe des Tages

Der K-Index wird alle 3 Stunden gemessen, stellt also eher eine Momentaufnahme dar . Zu diesem Zweck wurde der A-Index

geschaffen, er wird aus den Werten des K-Index ermittelt. Der A-Index liegt normal um 10 herum, kann aber bei schweren Magnetstürmen Werte von 200 erreichen.

K-Index - geomagnetischer Index

Der K-Index beschreibt die aktuelle magnetische Aktivität des Erdmagnetfelds am Beobachtungsort (hier Tromsø, Norwegen) in der Maßeinheit nanoTesla (nT) an. Alle 3 Stunden wird die Abweichung vom „Ruhewert“ gemessen, dabei wird die größte Abweichung bestimmt. Aus den K-Werten von 11 Observatorien auf der Nordhalbkugel und 2 Observatorien auf der Südhalbkugel wird der planetare K-Index K_p gebildet. Der K-Index ist neben dem solaren Flux der zur Beurteilung der aktuellen Bedingungen wichtigste Wert. Dem K-Index werden Ziffern von 0 bis 9 zugeordnet. Ein K-Index von 0 weist auf ein äußerst ruhiges Erdmagnetfeld hin - ein K-Index von >5 hingegen weist auf ein stark gestörtes Feld, einen sogenannten Magnetsturm hin.

Für gute DX-Möglichkeiten auf den drei unteren Kurzwellenbändern sind in erster Linie ruhige geomagnetische Bedingungen günstig, wenn der K-Wert über mehrere Meßperioden lang klein oder idealerweise nahezu Null ist. Vor allem bei Low-Band-DX sollte K bei 0..1 liegen. Ein Magnetsturm macht sich durch große K-Werte bemerkbar. Die MUF (obere Grenzfrequenz der Ionosphäre) sinkt ab, Verbindungen über die Polarregionen (Polarkappenabsorption) werden beeinträchtigt und u.U. fällt die Kurzwelle für kurze Zeit ganz aus (Blackout). Mit einem höheren K-Index steigt auf UKW die Aurora-Wahrscheinlichkeit.

304Å Flux - Photonenflux bei der Wellenlänge von 30,4 nanometer

Index für die energiereiche UV-Strahlung der Sonne mit der Wellenlänge von 30,4 nm.

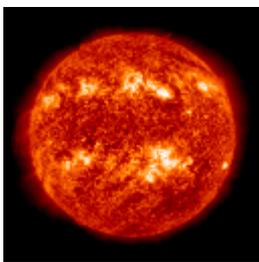
[Photonen / cm^2 Sekunde]. Hier gemessen vom Extreme Ultraviolet Variability Experiment (EVE) der Raumsonde SDO.

In der Astrophysik werden Wellenlängen noch häufig in der veralteten Längeneinheit Angström anstatt in der vom internationalen Einheitensystem vorgeschriebenen Einheit Meter (m) bzw. Nanometer (nm) angegeben. $1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m} = 0,1\text{ nm}$. Das für Menschen sichtbare Lichtspektrum reicht von ca 700nm (rot) bis 400 nm (violett), unterhalb der Wellenlänge von 400 nm fängt der Ultraviolettbereich an. 30,4 nm liegt demnach im extremen UV-Bereich des Spektrums der Ultraviolettstrahlung, darunter beginnt die Röntgenstrahlung.

Bei zunehmender Sonnenaktivität steigt auch die energiereiche 304Å UV-Strahlung, die die Reflexionseigenschaften der Ionosphäre verstärkt. Stetig ansteigende Werte insbesondere in Verbindung mit ansteigendem Solaren Flux weisen auf verbesserte Bedingungen für Weitverbindungen auf höheren Bändern hin.

Aktuelles Bild von der Raumsonde SDO: "Die Sonne heute"

Das aktuelle Bild der Sonne, aufgenommen von der im Februar 2010 ins All gestarteten Raumsonde "Solar Dynamics Observatory" (SDO). Die Aufnahme zeigt das Bild der Sonne durch ein Filter, das nur die Ultraviolett-Strahlung der Wellenlänge 304Å (=30,4 nm) durchlässt. Es zeigt die strahlende Materie der Sonnenatmosphäre bei 50000-80000 Grad Kelvin. Lädt man sich durch Klick auf das Bild die Großaufnahme herunter, kann man bei Sonnenaktivität eindrucksvoll die Eruptionen von Flares und Coronaren Massenauswürfen (CME) als Fackeln und Bögen am Rande der Sonnenscheibe erkennen.



Ptn Flx

Sonnenwind, Index des Protonenflusses in Partikel pro ccm.

Elc Flx

Sonnenwind, Index des Elektronenflusses

Zu den Auswirkungen des Sonnenwindes auf die Ausbreitung siehe weiter unter "Sonnenwind und geomagnetische Störungen"

Aurora - Auroral-Activity-Level

Der Aurora-Activity-Level gibt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Polarlicht und Radio Aurora Effekten an. Je höher der Level ist, desto wahrscheinlicher ist das Auftreten von sichtbarem Polarlicht. Erst bei einem Faktor von 10+ wären in Deutschland Polarlichter sichtbar.

Die Level von 0 bis 10 [$\text{erg cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$] werden aus Partikel-Energie Messungen des Total-Energy-Detectors (TED) des [NOAA Satelliten](#) bei Polüberquerungen extrapoliert. Der Normalisierungsfaktor n , macht eine Aussage auf die Zuverlässigkeit der extrapolierten Werte. Bei n kleiner 2 kann man von einer großen Zuverlässigkeit der Messwerte ausgehen. ("erg" ist eine Einheit für Energie, die in der Astrophysik oft anstelle von Joule verwendet wird, $1\text{erg} = 10^{-7}$ Joule)

VHF Conditons – VHF Ausbreitungsbedingungen:

Band Closed - kein sporadic-E möglich

High MUF - Möglichkeit von sporadic-E

Band Open - Band offen für sporadic-E

EsEU - Sporadic E- Europa,

EsNA - Sporadic E- Nordamerika

Information über Sporadic-E Aktivität im jeweiligen VHF-Band:

Als sporadische E-Schicht (Sporadic-E, Es) werden wolkenartige Gebiete hoher Ionisierung in der [Ionosphäre](#) in Höhe der E-Schicht bezeichnet. Die sporadische E-Schicht tritt unregelmäßig und auf der Nordhalbkugel vorzugsweise in den Monaten Mai bis Juli auf.

Auf hohen Frequenzen, auf denen unter normalen Bedingungen keine Signale zu vernehmen sind, werden plötzlich Verbindungen von einigen hundert km bis zu 2300 km (erster Hop) möglich.

Aur Lat (Aurora Latitude),

Aur-Lat gibt an, bis zu welchem Breitengrad der Erde das Polarlicht wahrgenommen werden kann und die Bänder der Amateurfunker beeinträchtigt werden können. Zur Veranschaulichung: Weinheim liegt beispielsweise auf der Breite 49° N, Helsinki auf 60° N.

Aurora ist das Ergebnis von riesigen Plasma Strömen von der Sonne und deren Zusammenwirken mit dem Erdmagnetfeld. Je höher der K-Index über 5 ist, desto eher ist Radio-Aurora wahrscheinlich.

Wenn Radio-Aurora auftritt, dann sind die meisten QSOs am späten Nachmittag und (abgeschwächt) kurz vor Mitternacht möglich. Eine weitere Häufung ist während der Monate März/April und September/Oktober festgestellt worden. Gegenüber herkömmlichen Verbindungen (auf dem direktesten Weg zwischen Sender und Empfänger) sind bei Aurora-Funkverbindungen die Richtantennen auf der Empfangs- und Sendeseite ungeachtet der Richtung zur Gegenstation nordwärts zum Ort der Aurora zu richten. Es werden von einem bestimmten Ort nur dann Aurorasignale empfangen, wenn die Aurora in einem Winkelbereich bis zu 20 Grad über Horizont auftritt. Die von einer Aurora zurückgestrahlten Signale zeigen einen eigenartigen rauhen Ton auf. Telegrafiesignale klingen wie ein Zischen, während die äußerst schwerverständlichen SSB-Signale sich so anhören, als ob der Sprecher extrem heiser ist. Ursache sind die mit unterschiedlicher Richtung und Geschwindigkeit sich bewegendem rückstreuenden Auroragebiete. Es treten Dopplereffekte auf: ein 2-m-CW-Signal ist um 300 bis 900 Hz verbreitert und gegenüber der ursprünglichen Sendefrequenz deutlich verschoben.

RF Conditions – HF-Ausbreitungsbedingungen

Gesamteinschätzung der Ausbreitungsbedingungen auf den unterschiedlichen Amateurfunk-Bändern und für Sporadic-E

Good – gute Bedingungen (grün),

Fair – grenzwertig (gelb),

Poor – schlechte Bedingungen (rot)

MUF – Maximum usable Frequency - höchste brauchbare Frequenz

Die MUF Angaben in dem Panel beziehen sich nur auf die sporadic-E Ausbreitung, für die MUF bezogen auf die Kurzwellenausbreitung siehe weiter unten.

Band Closed - kein sporadic-E möglich

6m sporadic-E beobachtet

4m sporadic-E beobachtet

2m sporadic-E unter Umständen möglich

2m sporadic-E beobachtet

Anmerkung:

Im Diagramm mit den solar-terrestrischen Daten wird der Begriff "MUF" für die Angabe der Frequenzbänder mit sporadic-E Aktivität gebraucht. Normalerweise bezeichnet man als MUF (maximum usable frequency) in der Kurzwellenausbreitung die höchste Frequenz, bei der eine Reflexion an der Ionosphäre möglich ist. Sie ermöglicht in mindestens 50 % der Empfangszeit eine zuverlässige Verbindung. Die MUF ändert sich in Abhängigkeit von der Tages- und Jahreszeit.

Die Tagesmaxima der MUF werden im Winter mittags, im Sommer erst nachmittags erreicht. Sie sind auch von den Funklinien abhängig, wobei die Nord-Südklinien etwas höhere Grenzfrequenzen haben. Mit der Sonnenfleckenzahl bzw. bei steigendem solaren Flux Index steigt auch die MUF und die kurzen Bänder werden für DX geeignet.

MS – Meteor Scatter

Gibt den Status der Meteorscatter Aktivität an. Der Farbbalken zeigt auf einer Farbskala die Intensität der Meteorscatter Aktivitäten zur jeweiligen Uhrzeit in UTC an.

Geomagnetic Field - geomomagnetisches Feld

Hier ist die geomagnetische Aktivität in ihrer Auswirkung auf die Kurzwellenausbreitung grob klassifiziert.

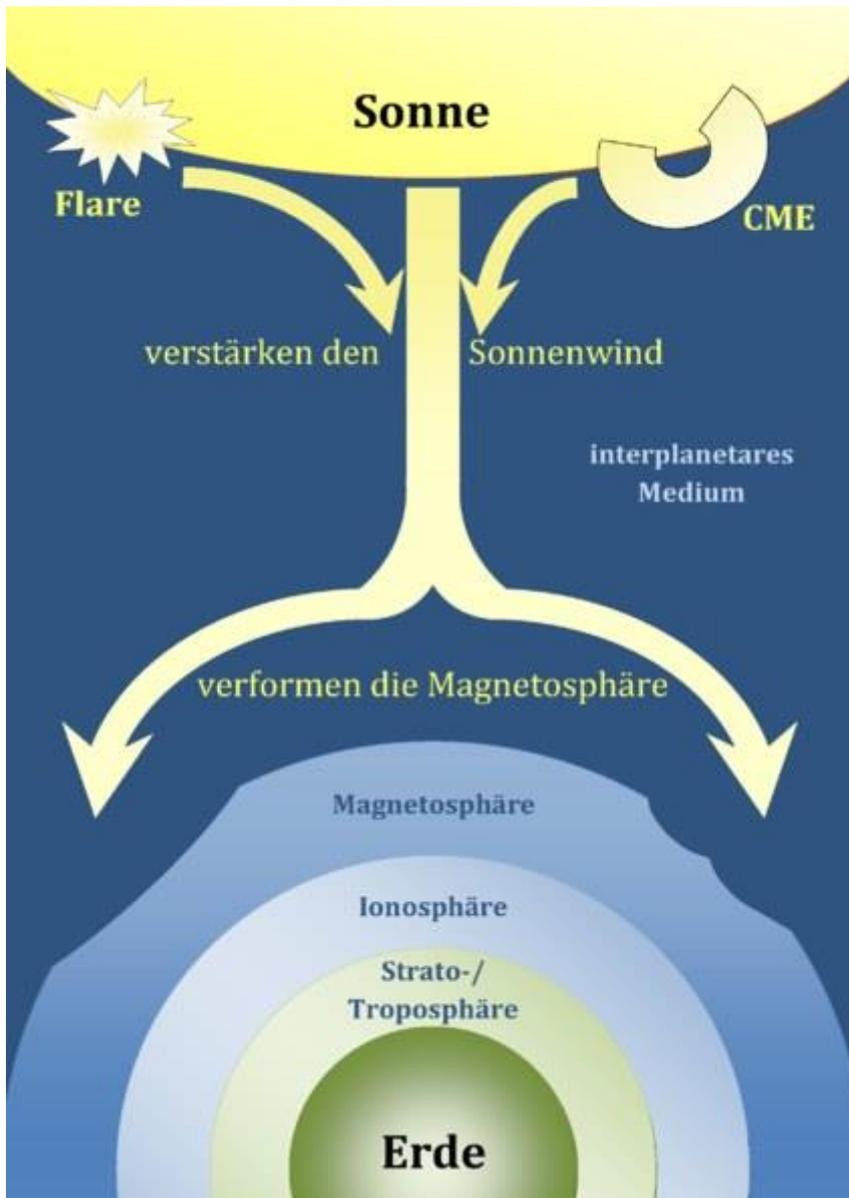
INACTIVE, QUIET= $K_p < 4$, UNSETTLED= $K_p = 4$, STORM= $K_p > 5$) (grün-gelb-rot) . Näheres siehe oben unter K-Index.

Ein hoher A- und K-Wert und damit verbundene Magnetfeldstörungen beeinträchtigen hauptsächlich KW-Funkverkehrslineien auf niedrigen Bändern, insbesondere wenn die Funklinie im nördlichen Bereich der Erde liegt oder das Polargebiet tangiert.

Sig Noise Lvl – Hochfrequenter Störpegel

Angabe des solaren bzw. geomagnetisch bedingten HF-Störpegels in S-Stufen. Steigt bei geomagnetischen Störungen bis auf hohe Werte S9++.

Panel: Sonnenwind und geomagnetische Störungen



Der Sonnenwind ist ein Plasmastrom (Plasma = elektrisch leitfähiges, ionisiertes Gas), ein ständiger Strom elektrisch geladener Teilchen, der von der Sonne ins All strömt. Er besteht hauptsächlich aus Protonen und Elektronen, sowie aus Heliumkernen (Alpha-Teilchen). Durch von der

Sonne explosionsartig ausgestoßene Partikel (vornehmlich von koronaren Löchern und koronaren Massenauswürfen, (CME) treten Böen des Sonnenwindes auf, die nach etwa 24 bis 36 Stunden als Stoßwelle die Magnetosphäre der Erde erreichen. Die Magnetosphäre der Erde hält den Teilchenschauer zum größten Teil von der Erdoberfläche ab und leitet sie um die Erde herum.

Das Auftreffen von Böen des Sonnenwindes auf die Magnetosphäre der Erde führt zu Störungen des Erdmagnetfeldes. Bei starkem Sonnenwind dringen die Teilchen in die hohen Schichten der Erdatmosphäre ein und rufen Polarlichter (Aurora, Radio-Aurora) hervor. Starke Sonnenwinde beeinflussen das Erdmagnetfeld und beeinträchtigen die Ausbreitung von Kurzwellen und die Kommunikation mit Satelliten (z.B. GPS)

Bild: Wikimedia

Die Instrumente im Panel links zeigen Echtzeitdaten von dem amerikanischen ACE Satelliten (Advanced Composition Explorer).

Magnetic Field BZ component: Gibt die Polarität und die Stärke der vertikalen Komponente des interplanetaren Magnetfeldes in nano Tesla (nT) an.

Speed : Gibt die Geschwindigkeit des Sonnenwindes in Kilometern pro Sekunde (Km/s) an.

Dynamic Pressure: Gibt den dynamischen Druck des Sonnenwind-Plasmas auf das Erdmagnetfeld in nano Pascal (nPa) an.

Je intensiver das Erd-Magnetfeld durch den Sonnenwind nach Süden abgelenkt wird (zu erkennen am Minuswert) und je höher die Geschwindigkeit des Sonnenwinds, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Polarrlichtphänomenen und für eine Beeinflussung der Ausbreitungsbedingungen (Verschlechterung der KW-Ausbreitung bis hin zum länger dauernden Blackout, Polarkappenabsorption, Anstieg des Störpegels)

Panel: Reflexionseigenschaften der F2 Schicht - senkrecht-Grenzfrequenz foF2

Die sogenannte maximale Durchdringungsfrequenz, senkrecht-Grenzfrequenz oder foF2 gibt die höchste Frequenz an, die von der F2 Schicht der Ionosphäre bei Senkrechtanstrahlung noch reflektiert wird. Sie ist ein Maß für den Ionisationsgrad der F2

Schicht. Die Messung der foF2 erfolgt durch die senkrechte Abstrahlung eines Impulses in den Himmel, der bis zum Erreichen der maximalen Durchdringungsfrequenz zur Bodenstation zurückreflektiert, beim Überschreiten dieser Grenzfrequenz jedoch ins All abgestrahlt wird. Die in Wirklichkeit höchste nutzbare Frequenz (MUF) liegt jedoch immer höher, da in der Praxis keine Antenne wirklich senkrecht in den Himmel strahlt, sondern im günstigen Fall einen flacheren Abstrahlwinkel aufweist.

Das Diagramm von der Australischen Space Weather Agency (IPS Australia) zeigt die aktuellen globalen foF2 Frequenzen als Farbe kodiert über der Erdkarte an. Für uns Europäer unüblich ist die Zentrierung der Kartendarstellung auf den Pazifik - von Australien aus hat man eben einen anderen Blickwinkel auf unsere Geographie. Deutschland liegt etwa auf den geographischen Koordinaten Latitude 50° North und Longitude 10° East, oben am linken Rand des Diagramms.

Man erkennt deutlich, dass die Grenzfrequenz auf der gerade von der Sonne beschienenen Seite der Erde am höchsten ist. Die höheren Grenzfrequenzen um den Äquator erklären, warum oft Nord-Süd Verbindungen einfacher möglich sind, als Verbindungen entlang eines Breitengrads oder über die Polregionen.

Sonneneruptionen

Man unterscheidet drei Arten von Ausbrüchen, bei denen die Sonne große Mengen an Energie in kurzer Zeit freisetzt und die jeweils unterschiedliche Auswirkungen auf die Funkausbreitung haben:

Flares Ausbrüche elektromagnetischer Strahlung
Surges Eruptive Protuberanzen
CME Koronale Massenauswürfe (Coronal Mass Ejection)

Flares

Flares sind plötzliche, lokal begrenzte Strahlungsausbrüche. Sie dauern nur wenige Minuten, dennoch werden dabei Energiemengen frei, die die normale Leistung der Sonne im Röntgen- und im harten UV-Bereich um das 100 fache übertreffen. Durch den Ausbruch eines Flares gelingt es der Sonne, komplexe Magnetfeldstrukturen innerhalb aktiver Regionen aufzulösen. Da Flares elektromagnetische Strahlung aussenden, die sich mit Lichtgeschwindigkeit fortbewegt, treten die dadurch hervorgerufenen Auswirkungen auf die F2 Schicht der Ionosphäre etwa 8,3 Minuten nach dem Ausbruch eines Flares auf.

CMEs

Bei einem CME werden Milliarden Tonnen Materie als Plasma in den Raum geschleudert. Koronale Massenauswürfe können, müssen aber nicht im Zusammenhang mit Flares auftreten. Beide Phänomene treten auch eigenständig auf. Während die von Flares ausgesandte Strahlung auf der Erde eine Ausdehnung der Ionosphäre verursacht, beeinflusst ein CME das Magnetfeld der Erde. Eine durch CME ausgesandte Plasmawolke (Sonnenwind) verursacht starke Wechselwirkungen und Verformungen des Erdmagnetfeldes bis hin zum Magnetsturm. Die Partikel des Sonnenwindes bewegen sich naturgemäß langsamer fort als die Strahlung von Flares, und erreichen daher erst nach einigen Stunden bis hin zu einigen Tagen nach dem Ausbruch die Magnetosphäre der Erde. Sie führen dort zu Auroraaktivität und Verschlechterungen der Ausbreitungsbedingungen, vornehmlich auf den unteren Bändern des Kurzwellenbereiches und im Polarkappenbereich. Wegen der längeren "Reisezeit" der Teilchen bis zur Erde können die Auswirkungen von CME mit einer gewissen Vorlaufzeit vorhergesagt werden.

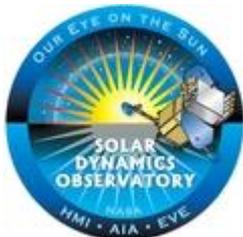
Surges

Surges sind sehr helle, meist stabförmige Protuberanzen, die mehr oder weniger senkrecht über den Sonnenrand herausstehen. Die Materie wird unter Ausbildung eines großen "Spießes" mit Geschwindigkeiten von 200 km/s in den Raum katapultiert. Die Auswirkungen auf die Funkausbreitung sind die gleichen wie bei CMEs.

Die Sonnenforschung geht heute davon aus, dass alle drei Phänomene unterschiedliche Ausprägungen ein und desselben physikalischen Prozesses sind. Auslöser sind dynamische Vorgänge zwischen den magnetischen Feldern auf der Sonnenoberfläche.

Literatur:

zitiert aus "Die Sonne", Autor: Jürgen Banisch, ISBN 978-3-938469-24-8, 2009 Oculum Verlag



©2010 - Guenter Fred Mandel, DL4ZAO, www.dl4zao.de

Bilder und Messwerte mit freundlicher Unterstützung von [NASA-SDO](http://www.nasa.gov), [NOAA-SWPC](http://www.noaa.gov) und [IPS-Australia](http://www.ips-australia.gov.au).