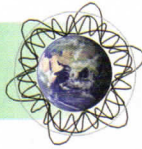


Kurzweiliges aus dem HF-Referat



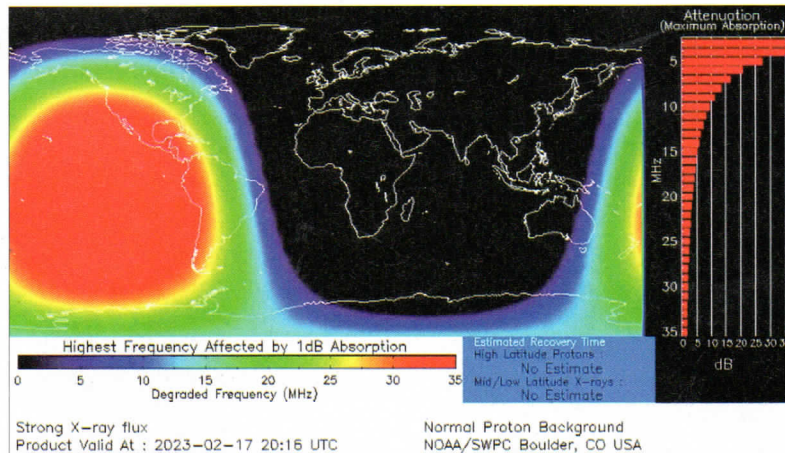
17. Februar 2023: Radio Blackout

Am 17. Februar 2023 ereignet sich um 2016 UTC in der am östlichen Sonnenrand neu erschienenen Region AR3229 die bis dahin stärkste Sonneneruption des Sonnenzyklus 25. Der Flareausbruch der Klasse X erreicht eine Stärke von 2,28 und verursacht für mehr als eine Stunde einen deutlichen Einbruch der Kurzwellenausbreitung in Teilen des amerikanischen Kontinents. Was war passiert?

Sonneneruptionen finden meist in Regionen mit mehreren Sonnenflecken statt. Kommen in einer komplexen Sonnenfleckengruppe mit mehreren lokalen Magnetfeldern sich Feldlinien unterschiedlicher Polarität zu nahe, springen die Feldlinien schlagartig um. Dabei werden große Mengen an gespeicherter Energie freigesetzt, u.a. in Form von Röntgenstrahlung bzw. extrem ultravioletter Strahlung. Diese bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit durch den interplanetaren Raum und wird auf ihrem Weg zur Erde von GOES-Satelliten (Geostationary Operational Environmental Satellite) der US-amerikanischen Wetterbehörde NOAA detektiert.

Trifft die energiereiche Strahlung eines Flare-Ausbruchs auf die Erde, dringt sie bis zur D-Region der Ionosphäre in Höhen von etwa 60 bis 90 km vor und erhöht deren Ionisation massiv. Durch Wechselwirkungen der elektromagnetischen Radiowelle mit den freien Elektronen wird deren Energie in Wärme und elektromagnetisches Rauschen umgewandelt. Die Folge: Mit steigender Ionisierung dämpft die D-Region die Funkwellen immer stärker. Es kommt zu einem teilweisen bis vollständigen Ausfall von Kurzwellen-Funkverbindungen über die Raumwelle. Der Effekt ist bei niedrigeren Frequenzen deutlich ausgeprägter. Dabei braucht es vom Ausbruch des Flares bis zum Einsetzen der Dämpfung nur etwas mehr als acht Minuten.

Solch ein „Radio Blackout“ kann bis zu mehreren Stunden andauern. Im deutschsprachigen Raum spricht man dann von einem „Mögel-Dellinger-Effekt“, im englischen Sprachraum vom „Short Wave Fadeout“ bzw. „Sudden Ionospheric Disturbance (SID)“. Der Effekt tritt nur



Das D-RAP-Modell der NOAA vom 17. Feb., 2016 UTC

auf der Tagseite der Erde auf. Da Flareausbrüche bzw. die Röntgenstrahlung plötzlich einsetzen, ist der Mögel-Dellinger-Effekt nicht vorhersehbar, allenfalls die Wahrscheinlichkeit aufgrund der magnetischen Konfiguration von Sonnenfleckengruppen.

Fünf Flare-Klassen

Je nach ihrer Intensität werden Flares in fünf Klassen eingeteilt (A, B, C, M, X), die sich um jeweils eine Größenordnung mit dem Faktor 10 unterscheiden. Beim A-Flare beträgt der Energiefluss (gemessen im Wellenlängenbereich zwischen 100 und 800 nm) weniger als 0,1 μ W pro m^2 Messfläche. Beim X-Flare ist er größer als 0,1 mW pro m^2 . Diese Zahlen mögen klein erscheinen, doch liegt der bei einem Flare in die Ionosphäre eingekoppelte Energiebetrag damit bereits im GW-Bereich! Mit bloßen Augen sind diese Strahlungsausbrüche unserer Sonne allerdings nicht zu sehen: Die Eruptionen machen im Bereich des sichtbaren Lichts nur einen verschwindenden Bruchteil der Sonnenstrahlung aus. Welche Gebiete auf der Erdkugel bei einem Flareausbruch wie stark betroffen sind, das zeigt dank der GOES-Satelliten-daten zeitnah das D-Region Absorption Prediction Model der NOAA, kurz D-RAP [1]. Damit lassen sich mögliche Auswirkungen auf Kurzwellenverbindungen über einen Zeitraum von acht Stunden abschätzen. D-RAP zeigt je nach Frequenz tabellarisch die zu erwartende Dämpfung an. Die dB-Werte gelten allerdings nur für Steilstrahlung (Abstrahlwinkel: 90°), sie sind bei einem horizontalen Erhebungswinkel von bspw. 30° um den Faktor 2, bei 15° bereits um den Faktor 4 zu erhöhen – entsprechend der Formel $1/(\sin a)$ (a = Erhebungswinkel) [2]. Denn je flacher ein Signal auf die D-Region trifft, desto länger ist

sein Weg durch diese Region und desto mehr Energie verliert es. Doch damit nicht genug: Das Ganze muss man dann nochmals verdoppeln, wenn das von der Ionosphäre zurückgebrochene Funksignal auf dem Weg Richtung Erdboden erneut die dämpfende D-Region durchlaufen muss. Bei Mehrfachsprüngen tritt dieser Effekt mit jedem Sprung auf. Umso größer die Absorptionswirkung.

Die D-RAP-Darstellung macht zudem anschaulich: Durch geometrische Effekte ist die Ionisierung der D-Region durch die solare Röntgenstrahlung dort am größten, wo die Sonne direkt über dem Erdboden steht. Der Grad der Ionisierung und Absorption nimmt mit der Entfernung von diesem so genannten „sub-solaren“ Punkt ab und erreicht an der Tag-Nacht-Grenze den Wert Null. Die Nachtseite der Erde ist nie betroffen. Im Falle des X2.28-Flares vom 17. Februar traf es vor allem die Westküste des amerikanischen Kontinents, wie das Bild zeigt. Auf 7 MHz lag die Dämpfung laut Tabelle bei rund 17 dB, macht bei 10° Erhebungswinkel (DX) und zwei Durchgängen durch die D-Region knapp 200 dB Dämpfung; bei einem Abstrahlwinkel von 70° (NVIS) immerhin noch 36 dB. Auf 14 MHz ergeben sich aus den rund 5 dB in der Tabelle bei 10° Abstrahlwinkel knapp 60 dB Dämpfung – entsprechend ist das Band dann wie tot. Die Wahrscheinlichkeit von Flare-Ausbrüchen gibt die NOAA in ihren Vorhersagen jeweils in Prozent an. Für den 17. Februar, als sich abends der bislang stärkste Flareausbruch des aktuellen Sonnenzyklus ereignete, lag sie für Flares der Klasse M bei 30 %, für solche der Klasse X bei 5 %.

Fazit: Die Sonne ist immer wieder für Überraschungen gut. Und Weltraumwettervorhersagen sind ein kompliziertes Geschäft.

Literatur

- [1] <https://www.swpc.noaa.gov/products/d-region-absorption-predictions-d-rap>
- [2] RSGB RadCom, Ausgabe Dez. 2022, S. 57

Beiträge für „Kurzweiliges“: DARF HF-Referat www.darc.de/referate/hf

Referent: Tom Kamp, DF5JL df5jl@darc.de