

DAS WELTRAUMWETTER - URSPRUNG UND AUSWIRKUNGEN AUF UNSERE TECHNOLOGISIERTE GESELLSCHAFT

Jens Berdermann

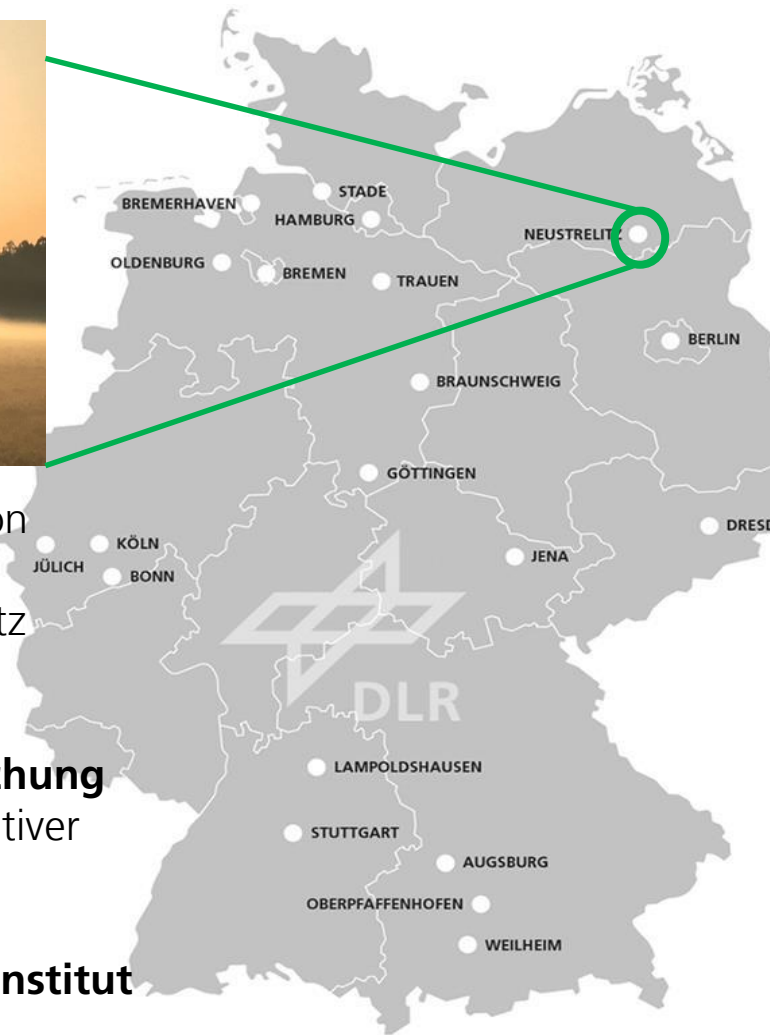
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Institut für Solar-Terrestrische Physik



DLR Standort Neustrelitz

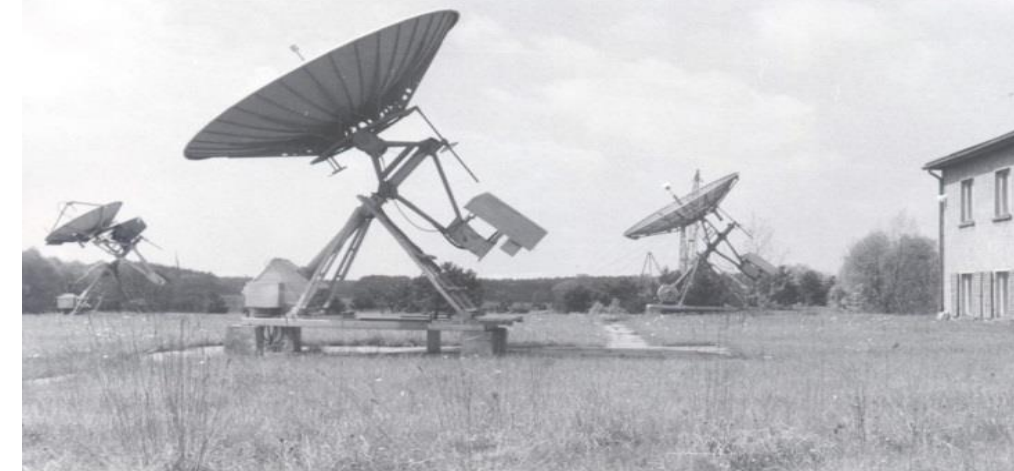
DLR Standort Neustrelitz (Heute)



Reichweitenmessungen von Radiowellen an der "Versuchsfunkstelle Strelitz - VFSS" des Telegraphen-Versuchsamtes (TVA) Berlin (1913)



Standort des **Heinrich-Hertz-Instituts für Solar-Terrestrische Physik** Berlin-Adlershof (Akademie der Wissenschaften DDR)



Die **Forschung** zur Wechselwirkung von elektromagnetischen Wellen mit der **Atmosphäre/Ionosphäre** in Neustrelitz begann vor **100 Jahren**.

Etwa **20 Jahre Weltraumwetterforschung** mit Schwerpunkt Ionosphäre (präoperativer Ionosphärendienst seit 2004).

Am 27.06.2019 wurde das neue **DLR-Institut für Solar-Terrestrische Physik** durch Beschluss des DLR-Senats gegründet.

Mission:

Entwicklung von wissenschaftlichen und technologischen Voraussetzungen für zeitnahe, genaue und zuverlässige Beobachtungen und Vorhersagen des Weltraumwetters.

Ziele:

- Das Verständnis der beteiligten physikalischen Prozesse (Ionosphären-Thermosphären-Magnetosphären-System und Interaktion mit der Sonne)
- Transfer der Ergebnisse aus der Grundlagenforschung für die Entwicklung anwenderrelevanter präoperationeller Produkte
- Die Widerstandsfähigkeit kritischer technologischer Infrastrukturen unserer Gesellschaft zu fördern



Artist: Dmytro Vasylyev

Was versteht man unter Weltraumwetter?

Wenn die Sonne auf Sturm steht

Atomare Teilchen bombardieren die Erde – die Stromversorgung gerät durcheinander, der Handyempfang leidet

VON GIDEON HEIMANN

Das Weltraumwetter: Wind ist stürmisch, korrodieren Gaspipelines, geraten Stromleitungen aus dem Takt, platzen Trafos. Es macht Satelliten unbrauchbar, stört den Handyempfang, die Flugzeugelektronik und vieles mehr. Klingt sehr weit hergeholt, und das ist es auch: mindestens 150 Millionen Kilometer. So weit ist es für die atomaren Teilchen von der Sonne zur Erde. Und dann erst



Bombardier @ Aemul

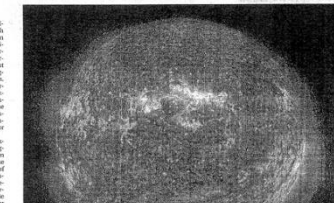
schwankenden magnetischen Einflüsse induzieren in ihm wiederum einen elektrischen Strom. Das führt zu unterschiedlichen Potenzialen in der Erdung, was zum Beispiel für die Stromversorgung gefährlich werden kann. Überdies wirken sich die schwankenden Magnetfelder auch direkt auf sehr lange Stromleitungen (oder eben Pipelines) aus, auch hier werden Ströme induziert. Diese Effekte können so stark werden, dass Kabelteile unter der Oberlast zerschmelzen: Im März 1989 geschah genau dies in der kanadischen Provinz Quebec.

Wenn aber so etwas Massives wie eine Stromleitung bedroht ist, dann kann man sich vorstellen, wie weitaus sensible elektronische Bauteile reagieren, sobald solche Sonnenschauer hereinprasseln. Computer

Berliner Zeitung Nummer 285 - Mittwoch, 30. Oktober 2002
Wissenschaft
WELTRAUMWETTER – Die Strahlung aus dem All beeinflusst das Klima auf der Erde offenbar stärker als viele Experten bisher dachten.

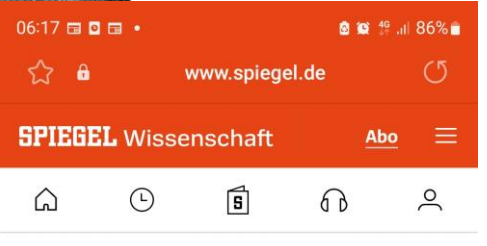
Außerirdisches Wetter

VON TASSIA HAAS
Für einen modernen Legenden zufolge gab es einen kleinen Sturm nach dem großen Sonnensturm, der am 4. November 1859 in den Bahnen in der Stadt. Das war ein solches Ereignis. Sonnenstürme sind von der Sonne ausstrahlende Teilchen (MFI) der Atmosphäre in Kalifornien. Es sagt, dass eine New Yorker Bahnlinie, über die Sonne einen Strom ausstrahlte, die Sonne verlor. Diese Sonnenstürme sind ein solches Ereignis. Die Folgen können besonders für moderne High-Tech-Gesellschaft zu schaffen machen.



Auf der Sonne finden immer wieder gigantische Explosionen statt, die gefährlich für die Erde sein können. Das Bild wurde am 25. Oktober 2002 von der Weltraumsonette Solar Wind 1 aufgenommen.

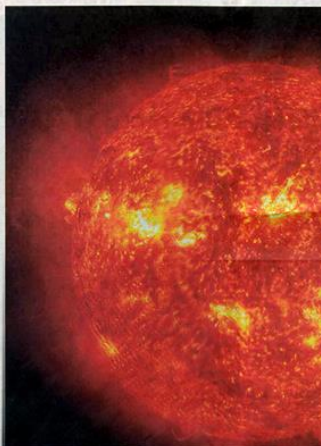
Das ist ein solches Ereignis. Die Folgen können besonders für moderne High-Tech-Gesellschaft zu schaffen machen. Die Folgen können besonders für moderne High-Tech-Gesellschaft zu schaffen machen. Die Folgen können besonders für moderne High-Tech-Gesellschaft zu schaffen machen.



Warnstufe Rot – die Sonne in Aufruhr

EXPLOSIONEN Seit vergangenen Donnerstag rast eine Milliarde Tonnen Sonnenmaterie auf die Erde zu. An diesem Wochenende erreicht uns die geladene Wolke.

Glockenspiel mit einem Durchmesser von 1,4 Millionen Kilometern, enthält ihre Energie, weil ihr Kern zu 15 Millionen Grad ist. In diesem Kern findet die Fusion statt, die die Energie der Sonne erzeugt. Die Sonne besteht aus 75 Prozent Wasserstoff und 25 Prozent Helium. Die Sonne ist ein riesiges Gasballon, der durch die Schwerkraft zusammengehalten wird. Die Sonne ist ein riesiges Gasballon, der durch die Schwerkraft zusammengehalten wird.



Barbara Duhon Hamburg
Glockenspiel mit einem Durchmesser von 1,4 Millionen Kilometern, enthält ihre Energie, weil ihr Kern zu 15 Millionen Grad ist. In diesem Kern findet die Fusion statt, die die Energie der Sonne erzeugt. Die Sonne besteht aus 75 Prozent Wasserstoff und 25 Prozent Helium. Die Sonne ist ein riesiges Gasballon, der durch die Schwerkraft zusammengehalten wird.

Die Sonne ist ein riesiges Gasballon, der durch die Schwerkraft zusammengehalten wird. Die Sonne ist ein riesiges Gasballon, der durch die Schwerkraft zusammengehalten wird. Die Sonne ist ein riesiges Gasballon, der durch die Schwerkraft zusammengehalten wird.

Ein Bild der Sonne. Die Protuberanzen (gelben Gas-Ausbrüche) haben eine Temperatur von 2000 Grad Celsius. Die Sonnenoberfläche ist bei 5500 Grad Celsius. Die Sonne ist ein riesiges Gasballon, der durch die Schwerkraft zusammengehalten wird.

UNWETTER AUF!

Wissenschaft

Unterschätzte Gefahr

Massive Sonneneruptionen gefährden die Infrastruktur auf der Erde. Das zeigt, wie verwundbar die moderne Gesellschaft ist

Von Ralf Neuberger

Es wurde Licht. Zu ziemlichem Unheil. Anfang September 1859 standen, so ist es überliefert, Bergarbeiter in den USA zum Teil mitten in der Nacht auf und machten sich Frühstück. Denn es war so hell, sie blickten die Polarlichter, die sie so weit im Süd-



raumwetter: Sonnenstürme brauen sich zusammen –

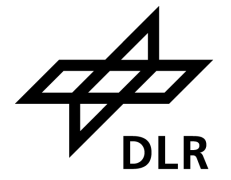
schelhaftes Weltraumwetter

Sonnenstürme brauen sich zusammen – was bedeutet das für die Erde?

nge blieb die Sonne ruhig, nun treten vermehrt Eruptionen auf. Das hat vielleicht weitreichende Folgen: So können Sonnenstürme bald auch in mittleren Breiten sichtbar zu sehen sein – und es kann zu elektronischen Ausfällen kommen.

01.2023, 13.16 Uhr

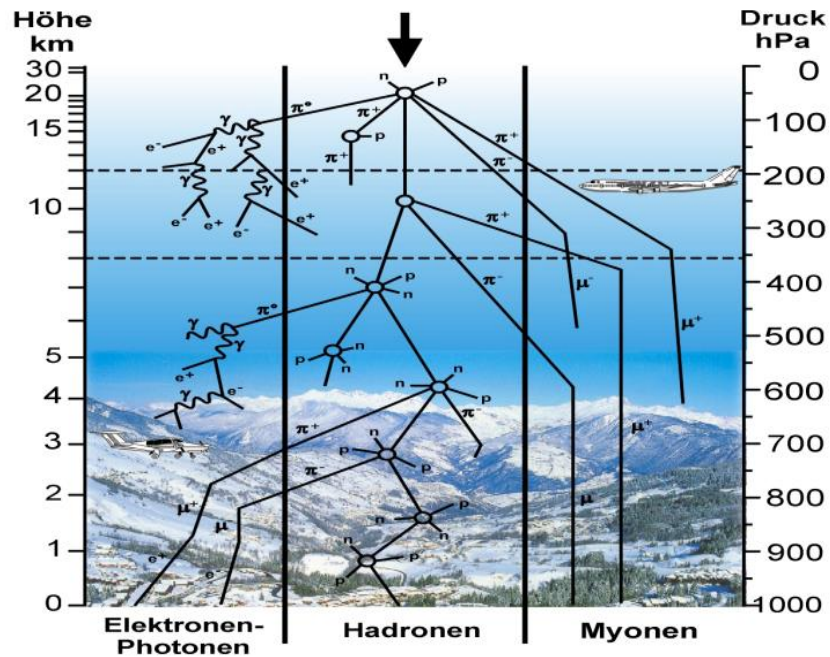
Einen Monat für 1 Euro Testen >



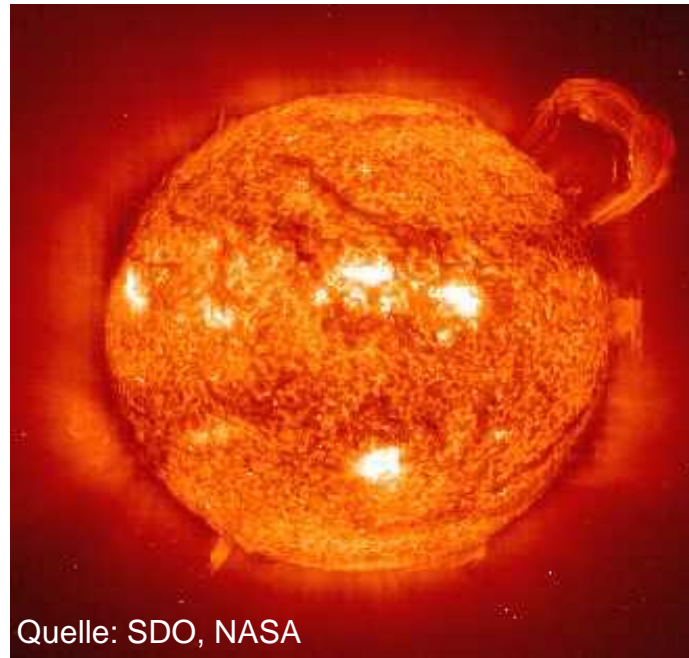
Was versteht man unter Weltraumwetter?

Das Weltraumwetter bezeichnet den Zustand des interplanetaren Feldes, der Magnetosphäre, der Ionosphäre und der Thermosphäre als Folge des Einwirkens der Sonne und anderer kosmischer Quellen.

Kosmische Strahlung



Sonne



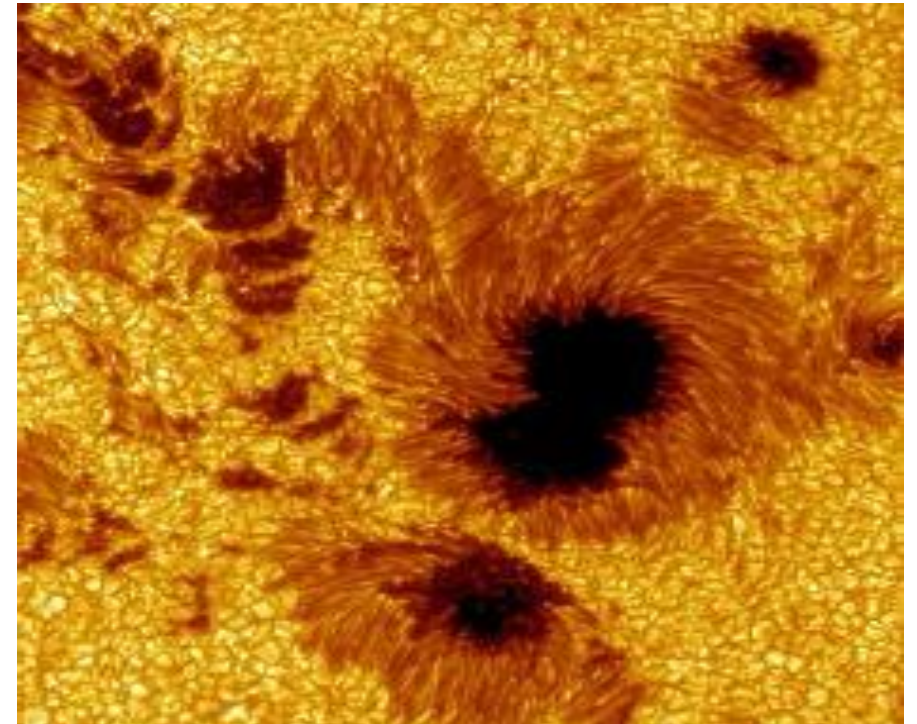
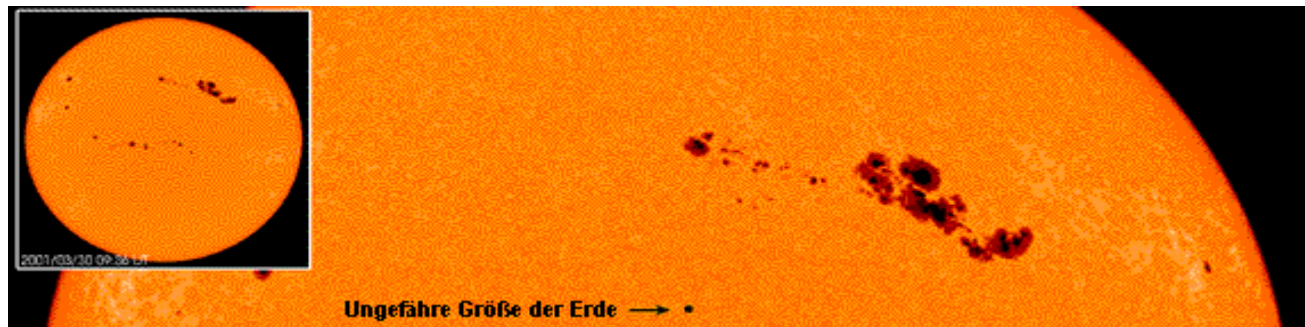
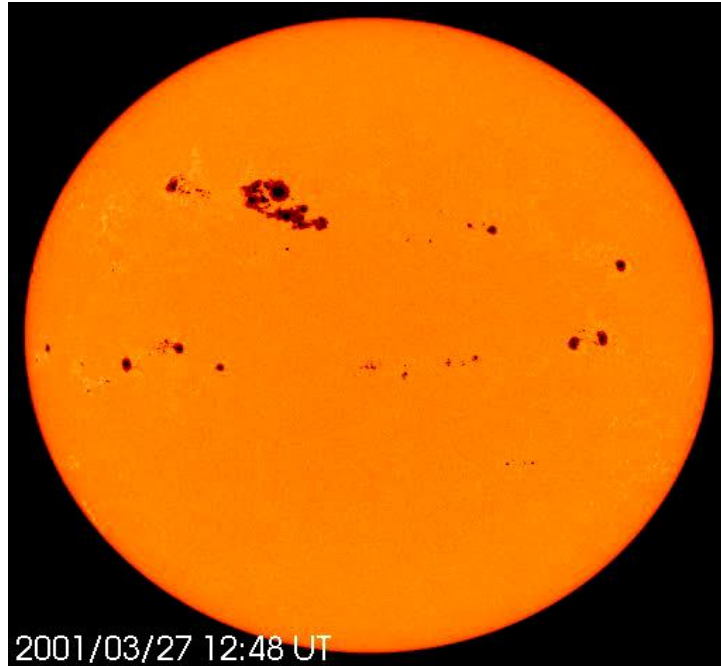
Solarstrahlung	W/m ²
Gesamt (sichtbar)	1366.0
UV 200 - 300 nm	15.4
0 - 200 nm	0.15
solare Protonen	0.002
gal. kosmische Strahlung	0.0000007

Es beeinflusst die ionisierte und neutrale Gashülle der Erde, technologische Systeme und das Leben im Weltraum und auf der Erde.

Der Begriff "Space Weather" oder "Weltraumwetter" wird seit ca. 1994 zur Beschreibung solar-terrestrischer Phänomene benutzt.

Sonnenflecken

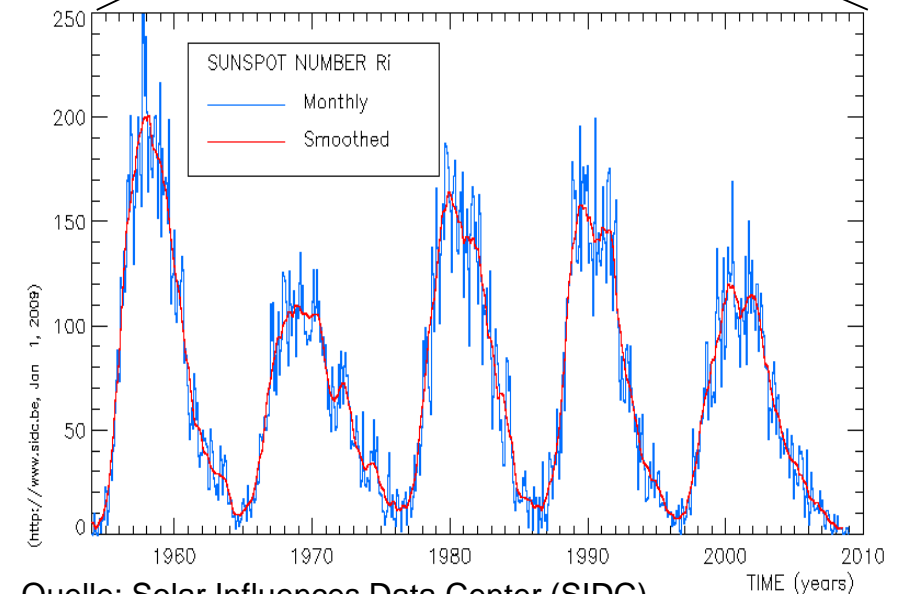
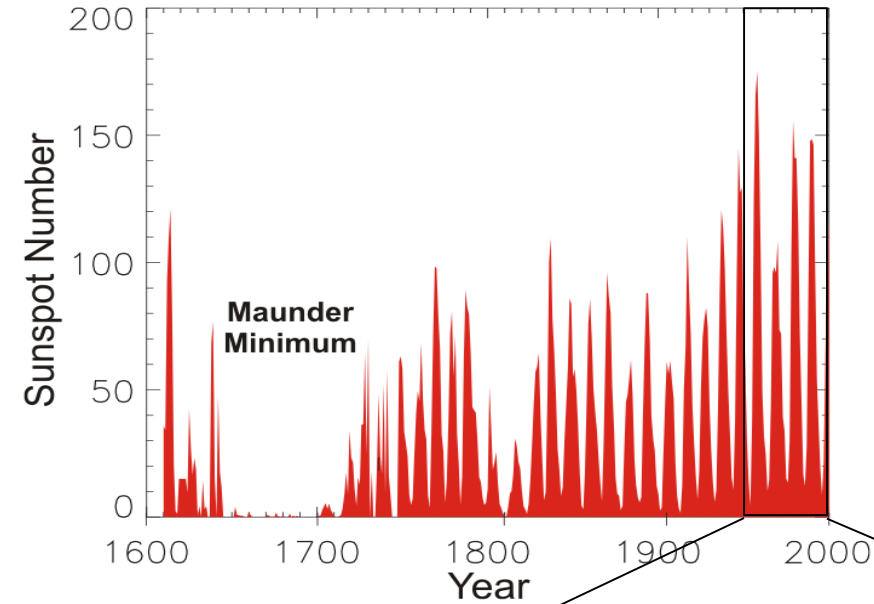
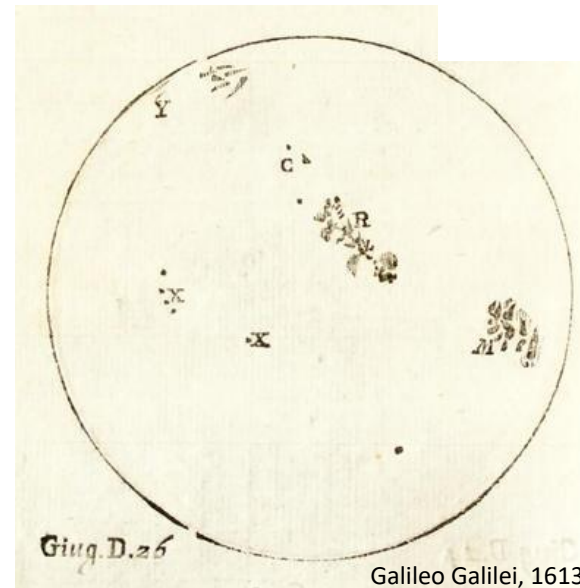
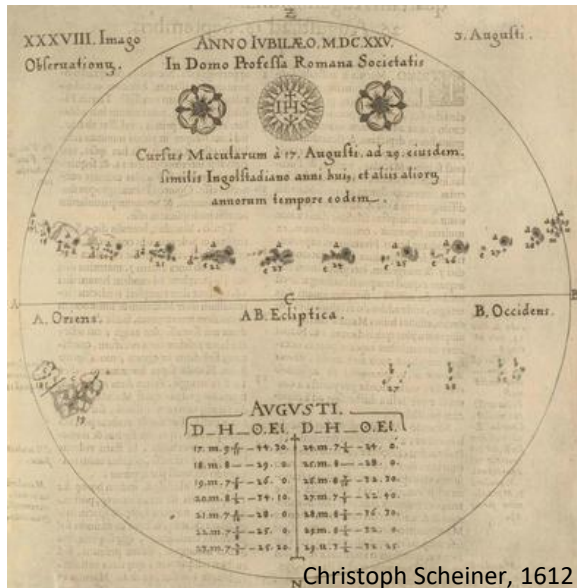
- Die Sonne besitzt eine mittlere Eigenrotation von 27 Tagen
- Die Sonnenfleckenanzahl ist ein Maß der solaren Aktivität



Quellen: SDO und SOHO, NASA

Sonnenaktivität – der solare Zyklus

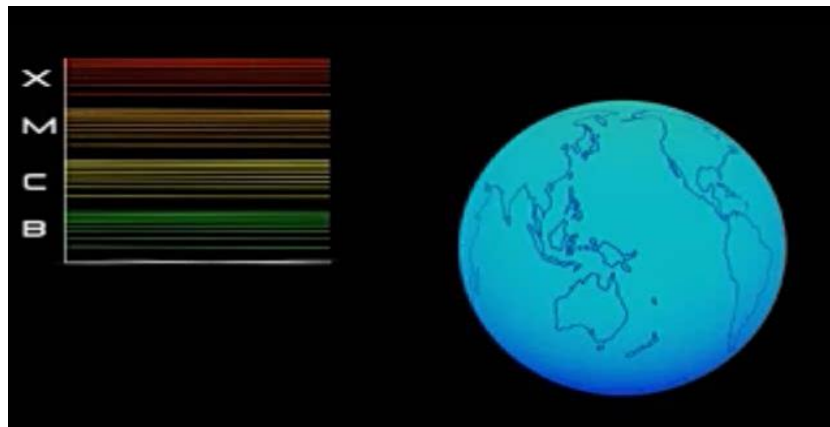
- Sonne folgt einem Zyklus von ca. 11 Jahren
- Aktivitätszyklus ist durch längerperiodische Zyklen überlagert
- Zyklus kann über die Anzahl der Sonnenflecken beobachtet werden (erste Aufzeichnungen im 16. Jahrhundert)



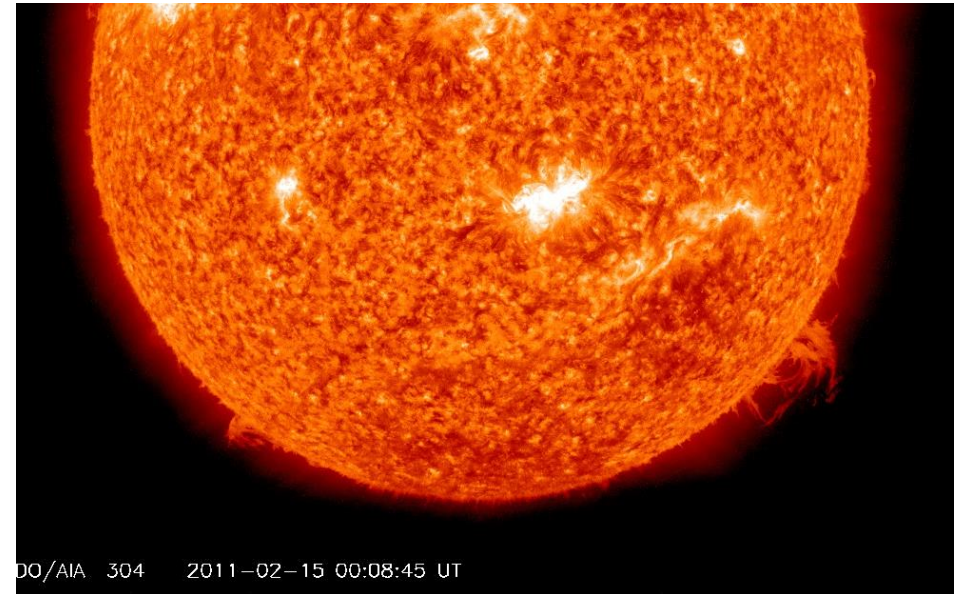
Quelle: Solar Influences Data Center (SIDC)

Sonneneruptionen (engl. Solar Flares)

- Starker Anstieg der Röntgenstrahlung und energiereichen Protonen und Elektronen
- Durchschnittliche Dauer: 30 Minuten
- Freigesetzte Teilchen dringen tief in die Atmosphäre der Erde ein und können Gefahr für Technologie und Menschen sein



Quelle: Animation NASA



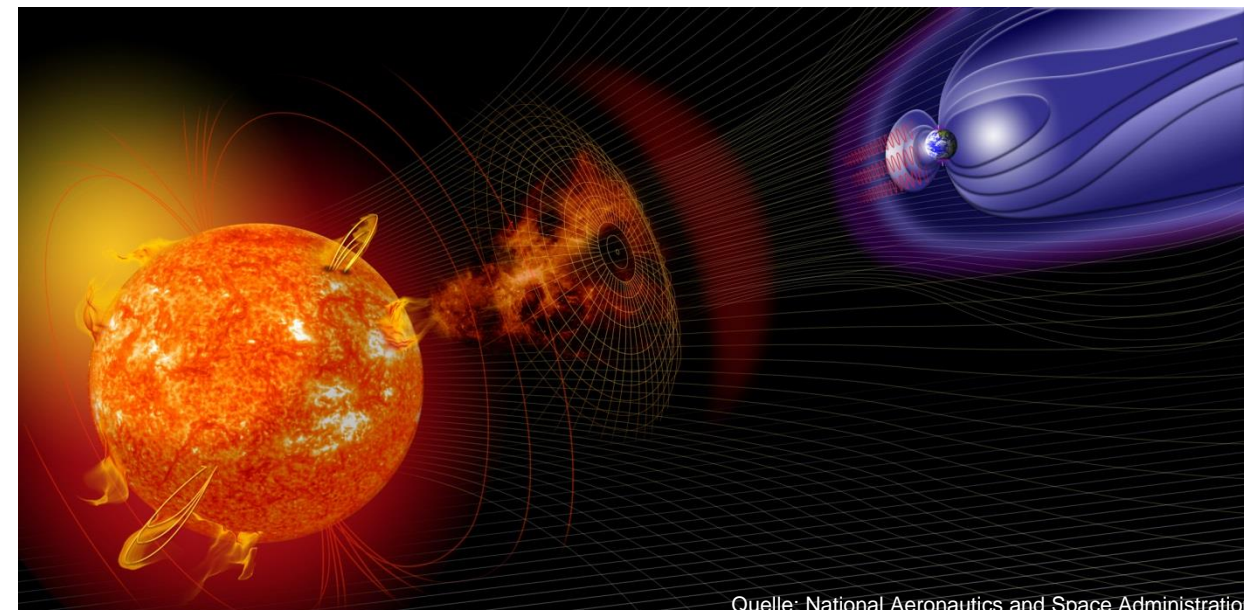
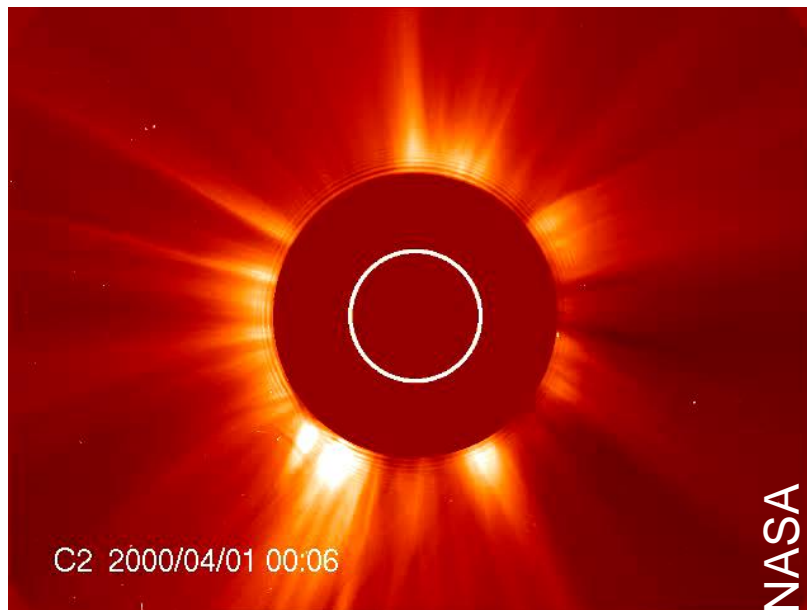
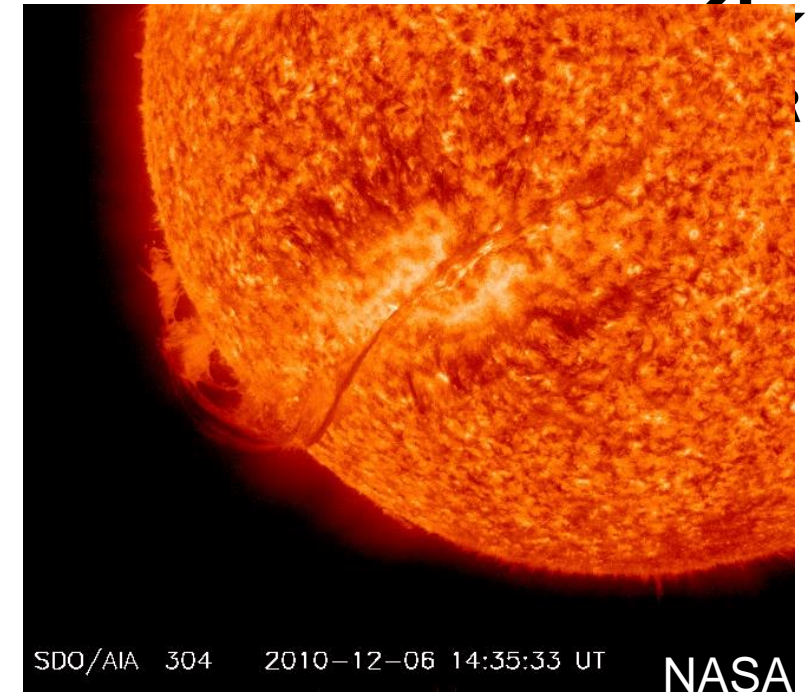
Quelle: SDO, NASA

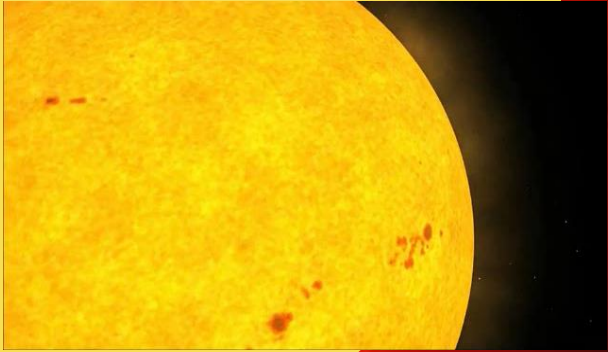
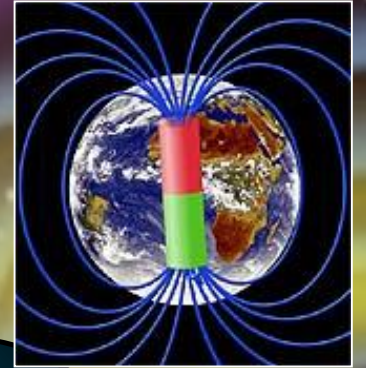
Klassifikation im Röntgenbereich:

- A - Klasse: $< 10^{-7} \text{ Wm}^{-2}$
- B - Klasse: $10^{-7} - 10^{-6} \text{ Wm}^{-2}$
- C - Klasse: $10^{-6} - 10^{-5} \text{ Wm}^{-2}$
- M - Klasse: $10^{-5} - 10^{-4} \text{ Wm}^{-2}$
- X - Klasse: $> 10^{-4} \text{ Wm}^{-2}$

Koronaler Massenauswurf (Sonnensturm)

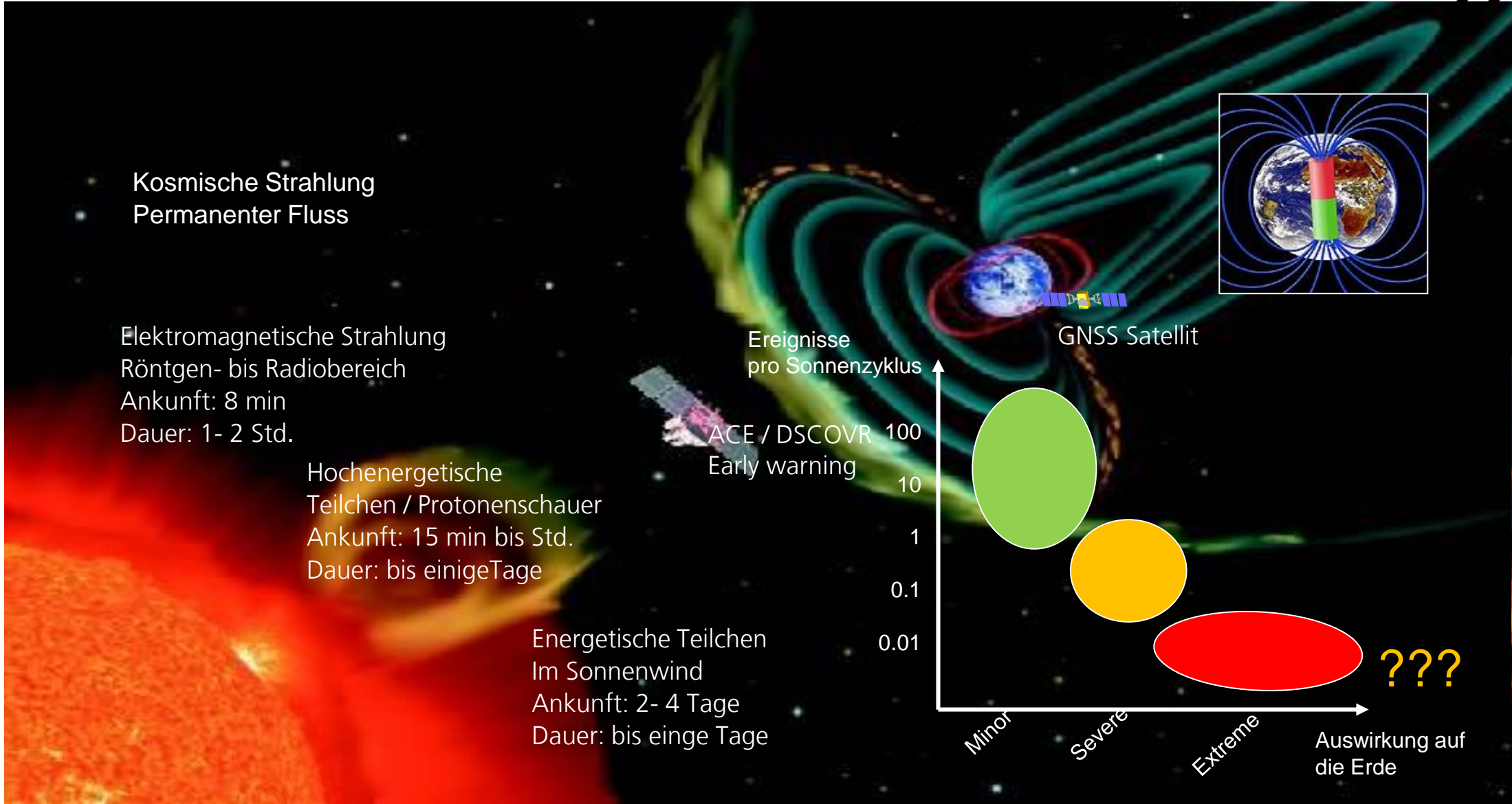
- Freisetzung großer Mengen Plasma in der Nähe von paarigen Sonnenflecken und Emission von Röntgenstrahlen
- Plasma? ~ Elektronen, Protonen und ein geringer Anteil schwerer Elemente
- Ursache: Abrupte Änderungen von Magnetfeldern auf der Sonne und Beschleunigung geladener Partikel durch elektromagnetische Rekonnexion





Welche Auswirkungen kann das Weltraumwetter haben?

Weltraumwetter

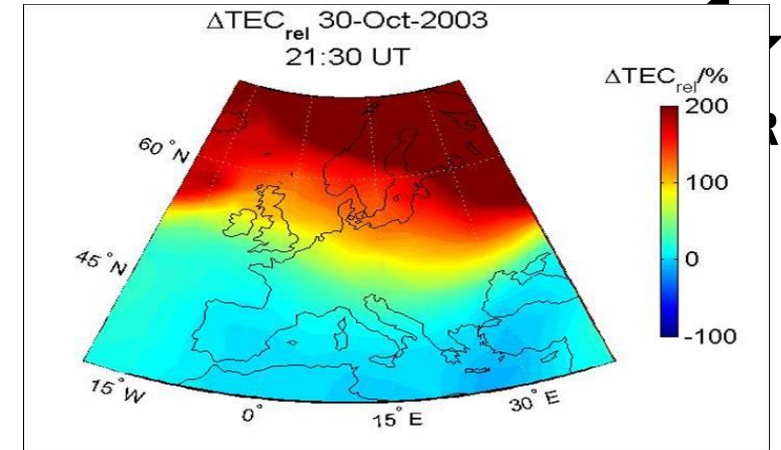


Background Image: NASA, Animation: NASA/Goddard Space Flight Center Conceptual Image Lab
Diagramm: Emilien Robert, Eurocontrol



Beispiele für Auswirkungen von Weltraumwetter

- Halloween-Sturm (30. Oktober 2003) ~ Störungen im Luftfahrtbetrieb, in der Navigation und Kommunikation, Zerstörung von Stromtransformatoren und Ausfälle sowie Beschädigungen an Satelliten
- Januar 1994 ~ Ausfall eines kanadischen Telekom Satelliten für 5 Monate nach Schäden durch Bestrahlung mit energetischen Teilchen
- Sonnensturm in Oktober 1989 ~ Gefährliche Strahlungslevel für Astronauten (selbst mit Schutzkleidung)
- März 1989 ~ Stromausfall für 9 Stunden in Quebec durch Induktion elektrischer Spannungen in Überlandleitungen
- June 1979 ~ Absturz der Weltraumstation Skylab durch Verlust von Geschwindigkeit in warmer Atmosphäre (hohe Sonnenaktivität)



*Störungfront in der Ionosphäre
Ionosphärensturm ausgelöst durch einen
Sonnensturm (Halloween-Sturm 2003)*



*Verbrannter Transformator
durch einen Sonnensturm
Salem Kernkraftwerk
New Jersey, USA (1989)*

Beispiele für die Auswirkungen von Weltraumwetter

- 1979 Absturz des US-Weltraumstation Skylab
- Abbremsung in erhitzter Thermosphäre durch starke Sonnenaktivität
- Trümmer wurden nahe der australischen Stadt Esperance gefunden

\$400 Bußgeld für NASA wegen unerlaubter Müllentsorgung!

Im April 2009 sammelte Scott Barley vom Highway Radio das Geld von den Hörern seiner Morgenshow und bezahlte die Geldstrafe im Namen der NASA.

Link: <https://en.wikipedia.org/wiki/Skylab>



SpaceX verliert dutzende von Satelliten bei einem Weltraumwetterereignis

- **49** Starlink-Satelliten wurden **am Donnerstag, 3. Februar 2022**, vom Kennedy Space Center in Florida in eine niedrige Erdumlaufbahn (210 km) gebracht
- Leider wurden die am Donnerstag gestarteten **Satelliten am Freitag, den 4. Februar 2022**, durch einen geomagnetischen Sturm **erheblich beeinträchtigt**.
- **Infolgedessen hat SpaceX 40 von ihnen verloren!**

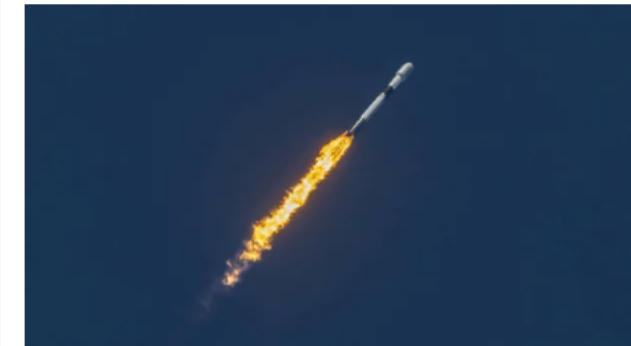
<https://www.spacex.com/updates/>

Starlink: SpaceX verliert in Sonnensturm Dutzende Satelliten

Bevor die Starlink-Satelliten in ihre Umlaufbahn geschickt werden, werden sie deutlich niedriger abgenommen. Etwa 40 hat dort nun ein Sonnensturm erwischt.

Lesezeit: 3 Min. In Pocket speichern

142



Der Start der Satelliten vergangenen Donnerstag (Bild: SpaceX)

07:38 Uhr

Von Martin Holland

Wenige Tage nach dem Start von 49 Satelliten für das Internetprojekt Starlink hat SpaceX bis zu 40 davon in einem Sonnensturm verloren. Das teilte das US-Raumfahrtunternehmen jetzt mit. Der geomagnetische Sturm vergangenen Freitag habe dafür gesorgt, dass sich die Erdatmosphäre erwärmt hat und deren Dichte in größeren Höhen so stark angestiegen ist, dass die Satelliten zum vorzeitigen Absturz gebracht worden seien. Für andere Satelliten und auch auf der Erdoberfläche habe dadurch keine Gefahr bestanden, die kleinen Satelliten verglühen lange vor dem Einschlag. Der Vorfall unterstreiche, dass sich die umfangreichen Sicherheitsmaßnahmen auszahlen, die SpaceX umsetzt, schreibt das Unternehmen.

<https://www.heise.de/news/Starlink-SpaceX-verliert-in-Sonnensturm-Dutzende-Satelliten-6360054.html>

Extremes Weltraumwetterereignis: Das Carrington-Ereignis im September 1859



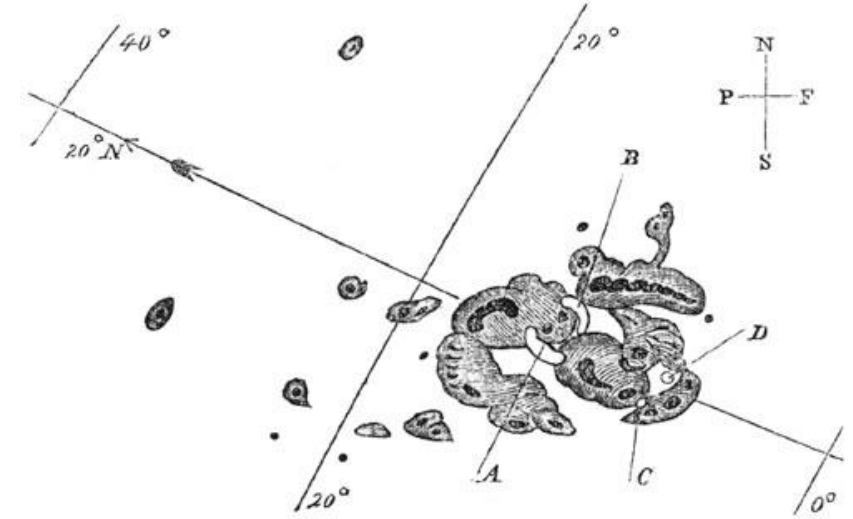
Am 1. und 2. September 1859 kam es zu einem der größten aufgezeichneten geomagnetischen Stürme (wie sie jemals von bodengebundenen Magnetometern erfasst wurden).

Auroras wurden bis in niedrige Breitengrade gesehen, z.B. Kuba, Bahamas.

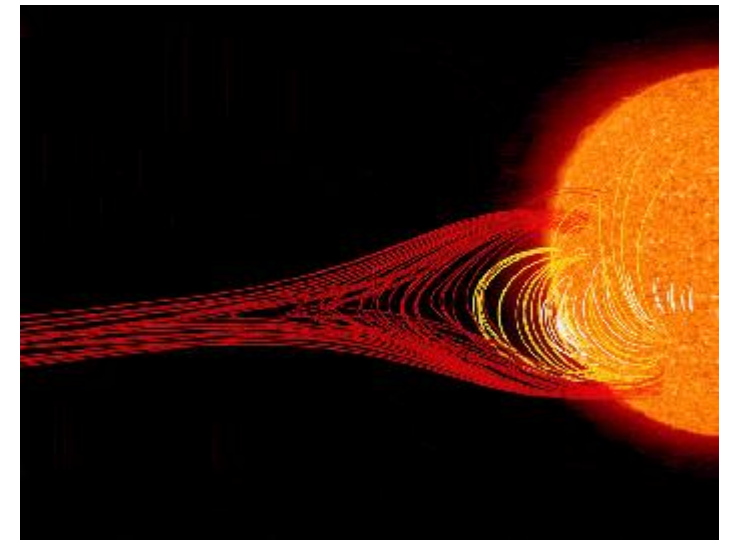
Telegrafenanlagen in ganz Europa und Nordamerika fielen aus und vereinzelt bekamen Telegrafbetreiber einen elektrischen Schock.

Einige Telegrafbetreiber konnten weiterhin Nachrichten senden und empfangen, obwohl sie ihre Stromversorgung getrennt hatten.

Ein Sonnensturm dieser Größenordnung könnte heute Schäden an mehreren Satelliten, den Verlust satellitengestützter Kommunikation und Navigation, weit verbreitete elektrische Störungen, Stromausfälle und Schäden durch längere Ausfallzeiten des Stromnetzes verursachen.

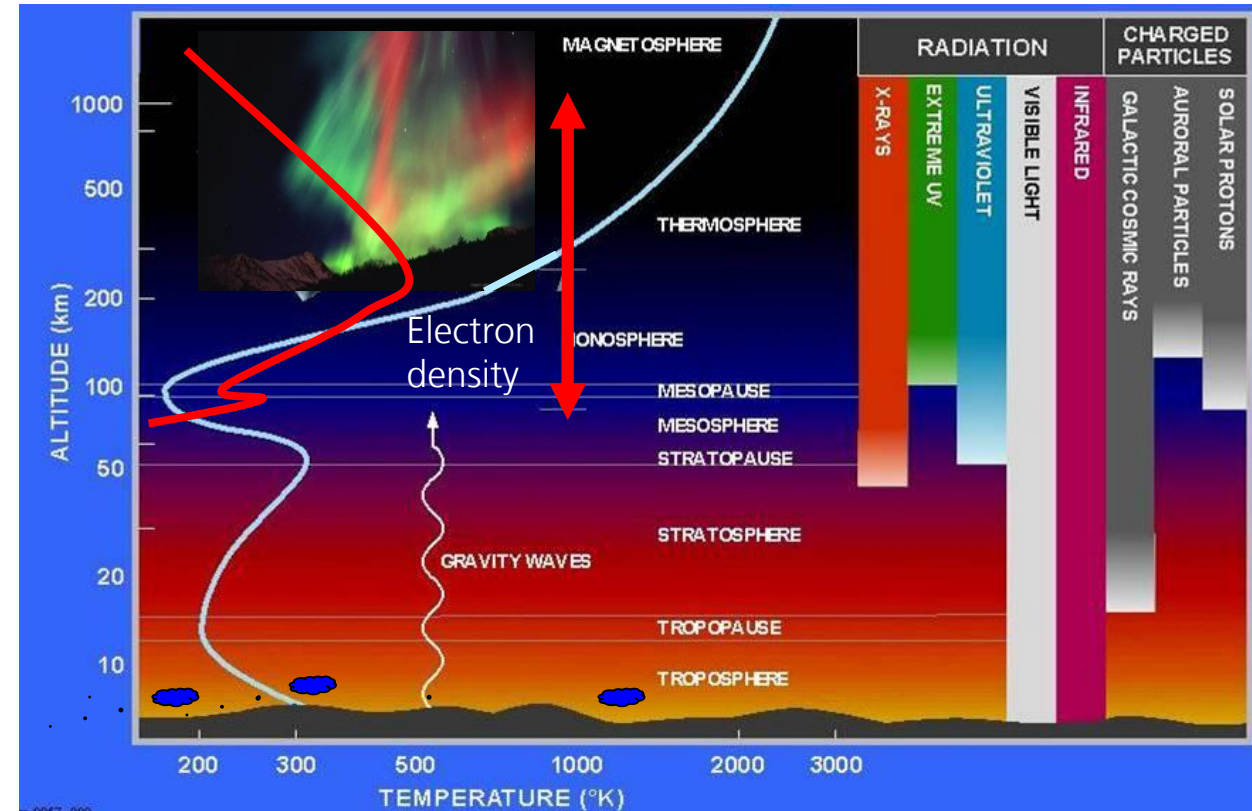


Sonnenflecken vom 1. September 1859 von Richard Carrington gezeichnet.

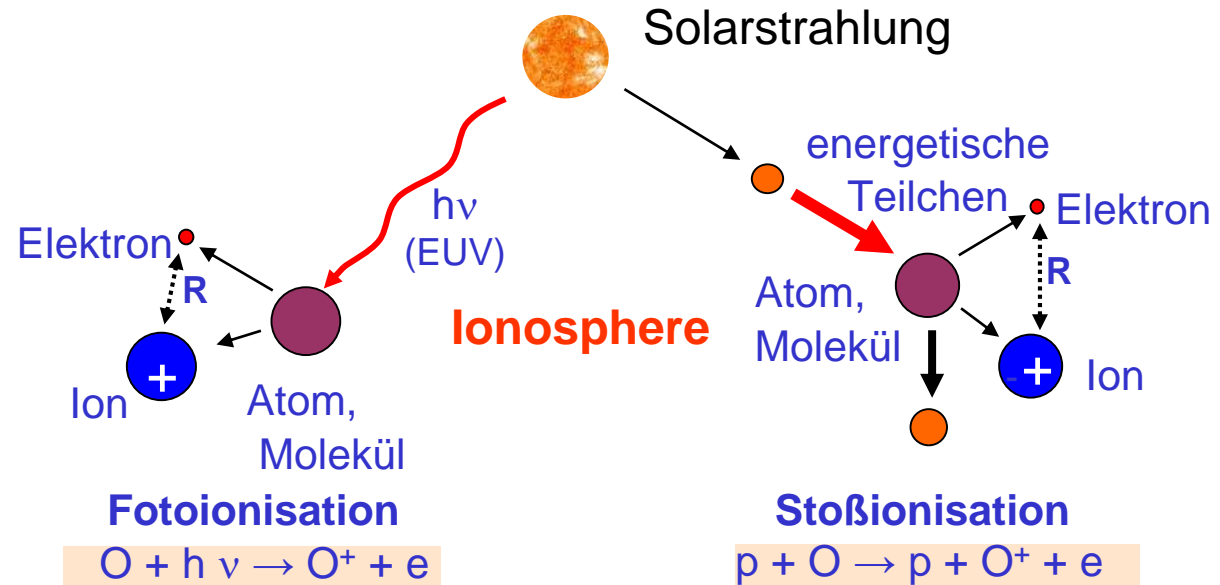
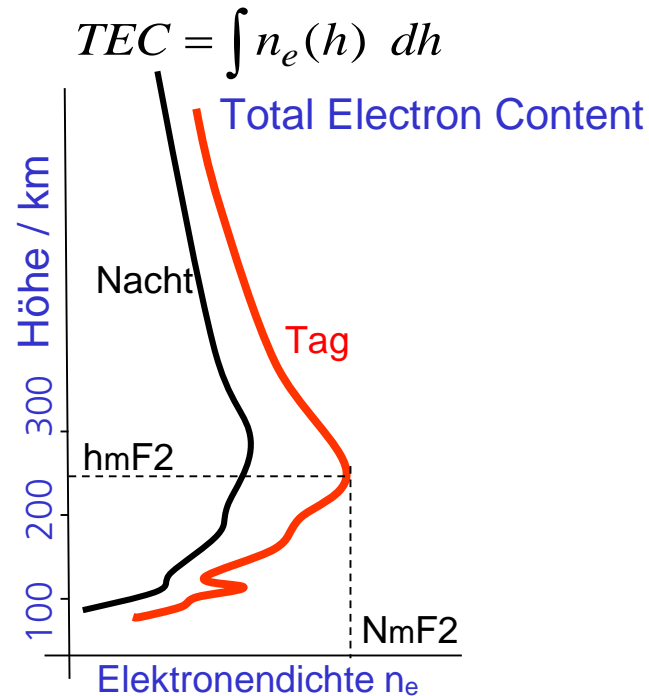


Weltraumwetter und Ionosphäre

- Die elektrisch geladene Schicht der Hochatmosphäre zwischen 50 km und 1000 km wird **Ionosphäre** genannt
- Tages- und Langzeitschwankungen
- Neutrale Gasatome und Moleküle werden in Elektronen und Ionen gespalten
- Ionisierung größtenteils durch EUV-Strahlung
- Das ionosphärische Plasma verursacht Reflektion, Brechung, Beugung, Absorption und Streuung von Radiosignalen.



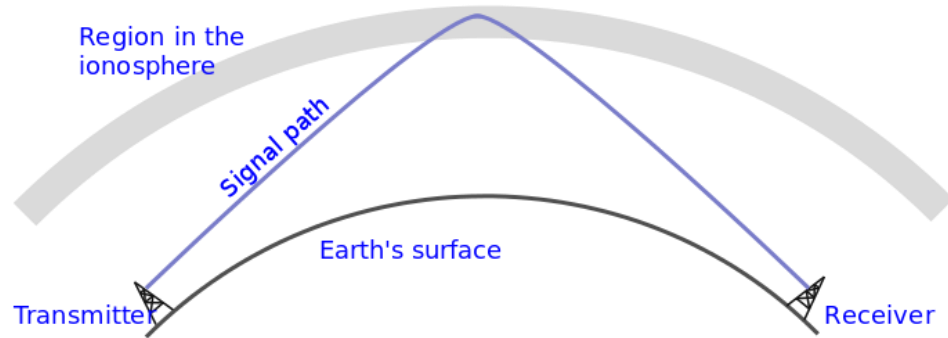
Entstehung der Ionosphäre



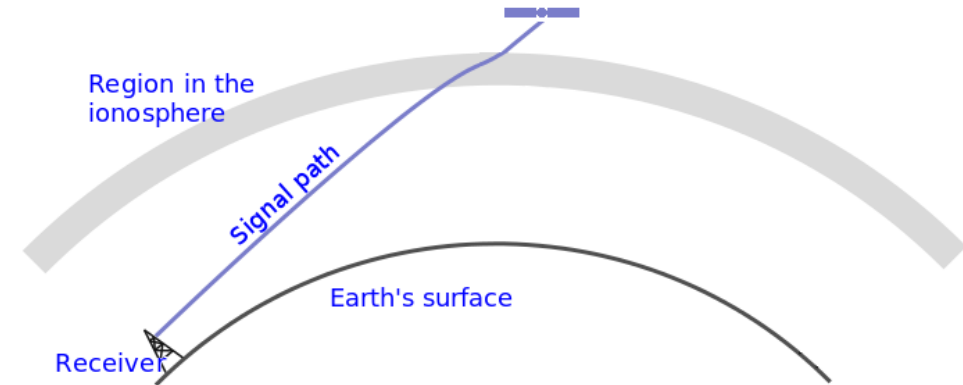
- Die Ionisation wird erzeugt durch hochenergetische Komponenten der Solarstrahlung sowie durch die galaktische kosmische Strahlung; ist damit abhängig vom Weltraumwetter.
- Starke Kopplung mit anderen Geosphären, insbesondere mit Thermosphäre und Magnetosphäre.
- Ladungsträger beeinflussen die Funkwellenausbreitung, mit wachsender Frequenz abnehmend.

Einfluss des ionosphärischen Plasmas

- Beeinflussung von Funksignalen durch Brechung und Reflexion → Globale Kommunikation

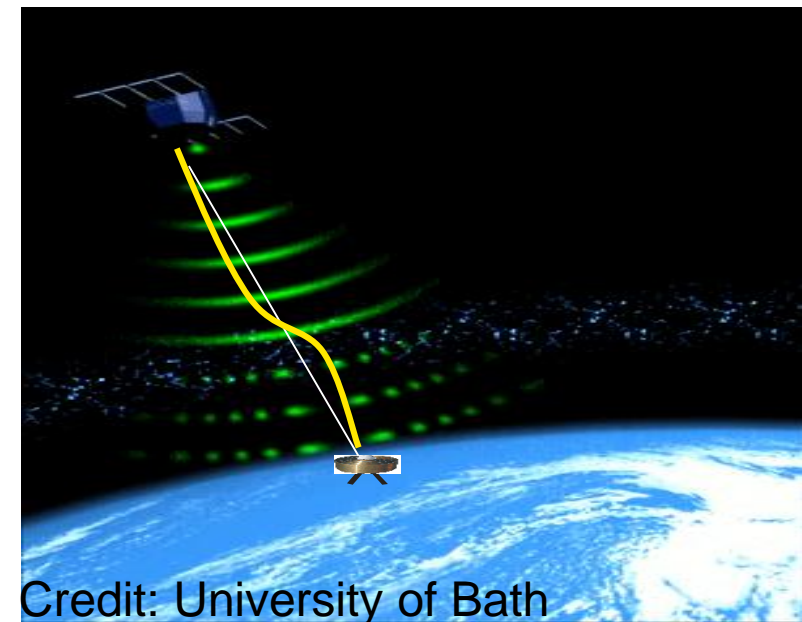


- Ionosphärischer Fehler in GNSS (80% des Gesamtfehlers) durch Brechung und Reflexion → Globale Navigation



Das Plasma der Ionosphäre verursacht eine Verzögerung der Funksignale
→ **Vortäuschung eines zu großen Abstands zwischen Satellit und Messort**

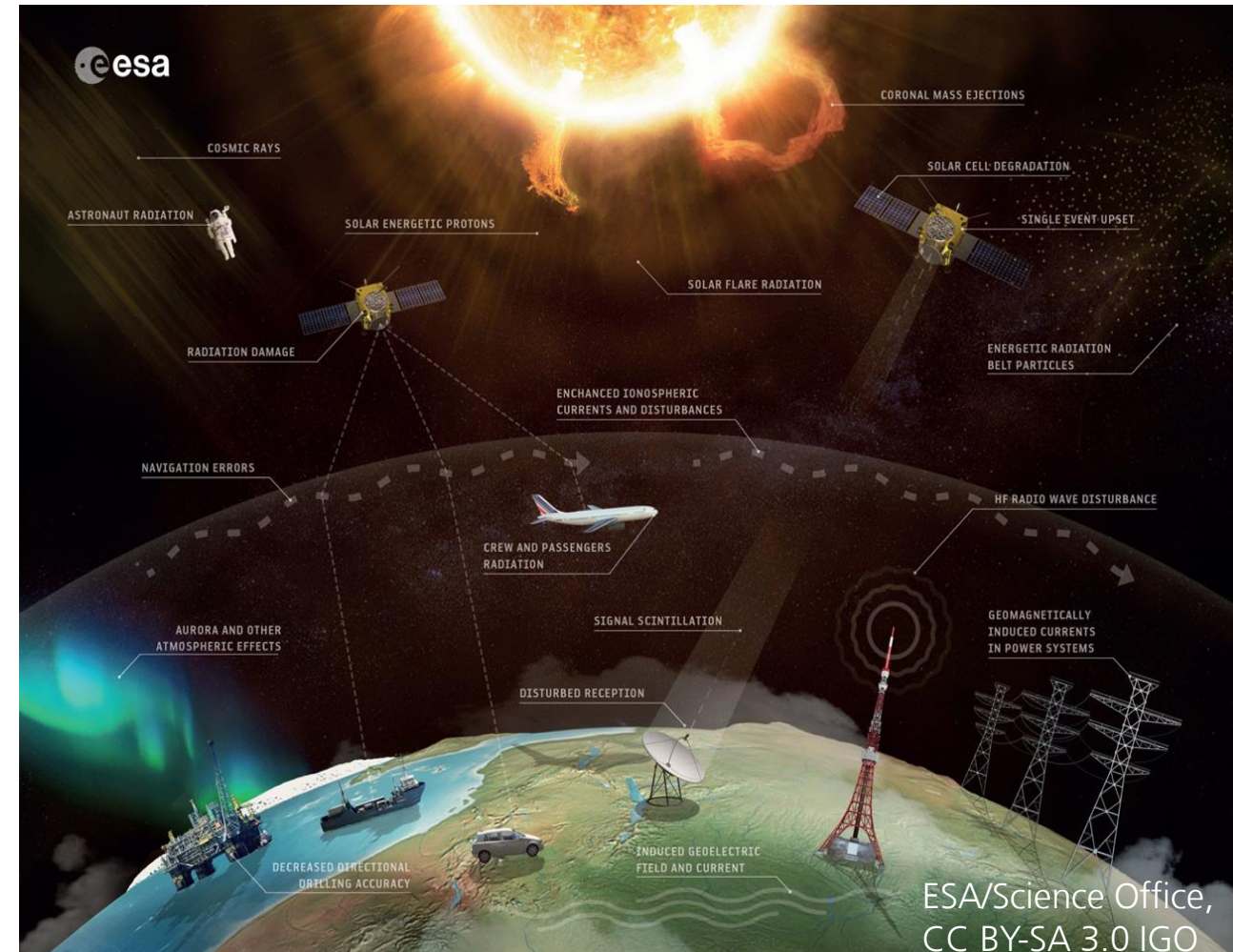
Plasmainstabilitäten verursachen Signalstärkefluktuationen
sowie Defokussierung des Signals → **Verlust des Nutzsignals möglich**



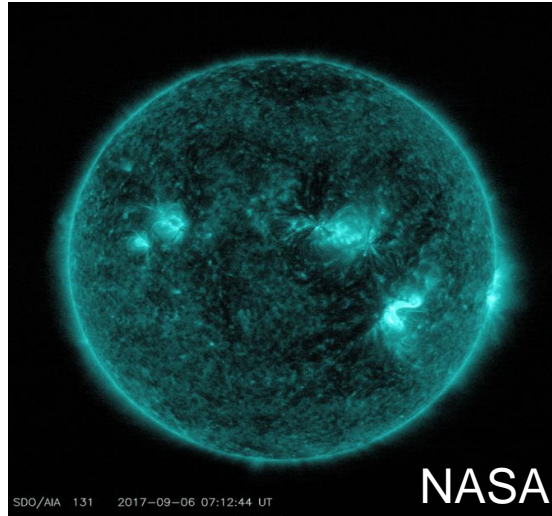
Credit: University of Bath

Gesellschaftliche Herausforderungen: Auswirkungen des Weltraumwetters auf kritische Infrastrukturen

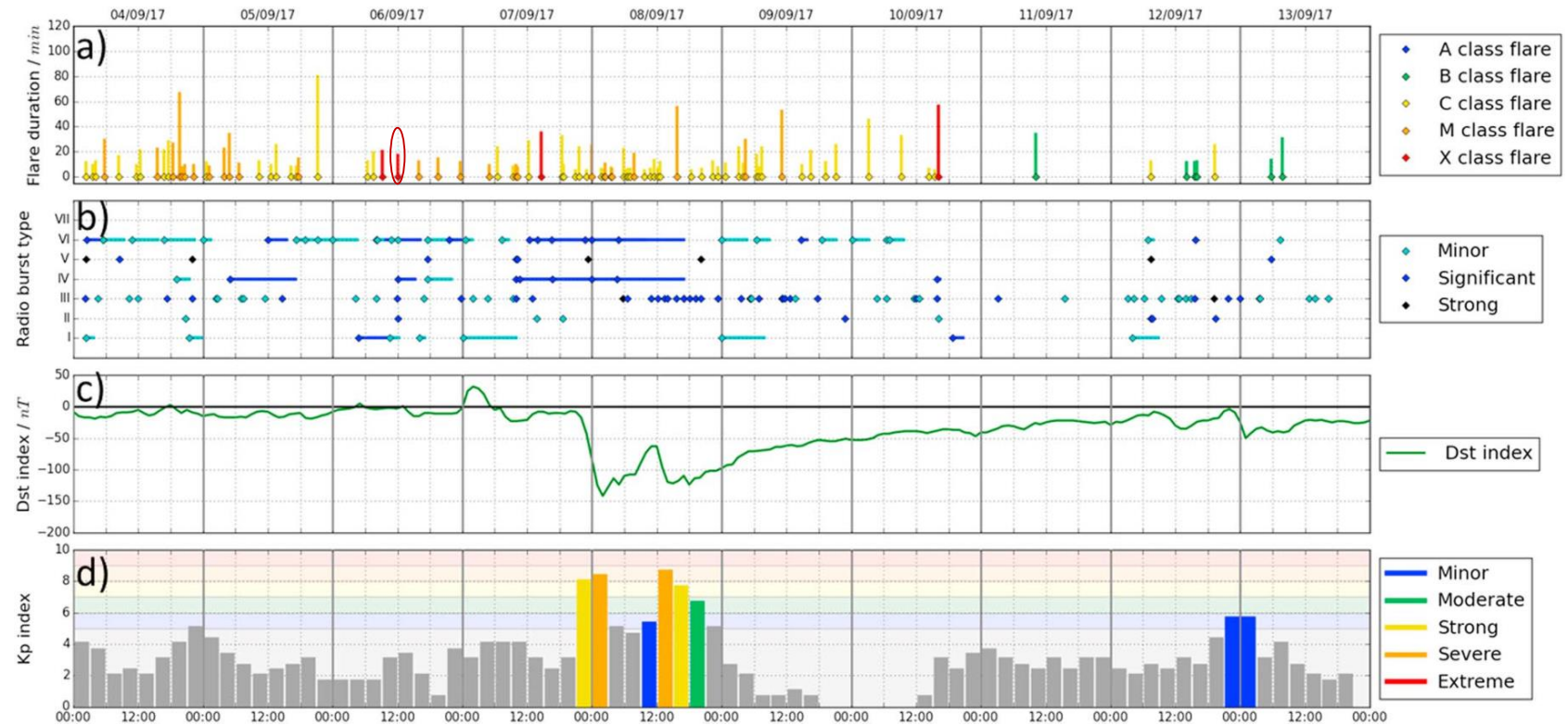
- Navigationsdienste: Sofortigen Auswirkungen auf Luftfahrt, Geodäsie, Landwirtschaft, UAVs, automatisierte Autonavigation, Ressourcengewinnung, Such- und Rettungsdienste
- Terrestrische und weltraumgestützte Kommunikation
- Elektrische Stromnetze
- Schäden an der Elektronik von Raumfahrzeugen/Satelliten
- Strahlungseinflüsse auf Luft- und Raumfahrt
- Korrosion von Rohrleitungen



Weltraumwettereinfluss auf GNSS

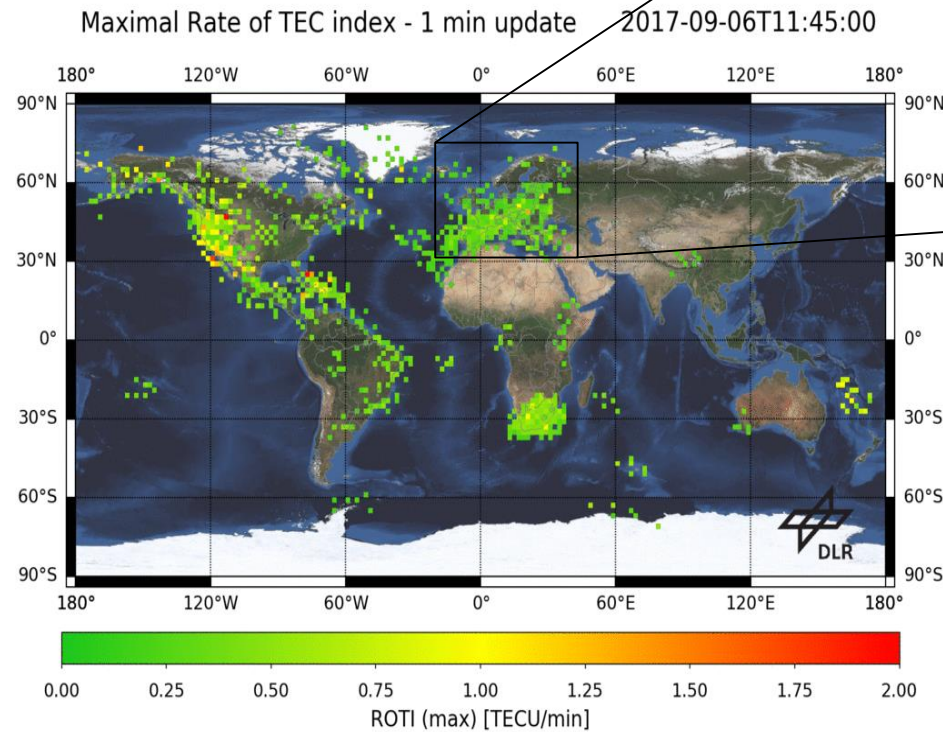
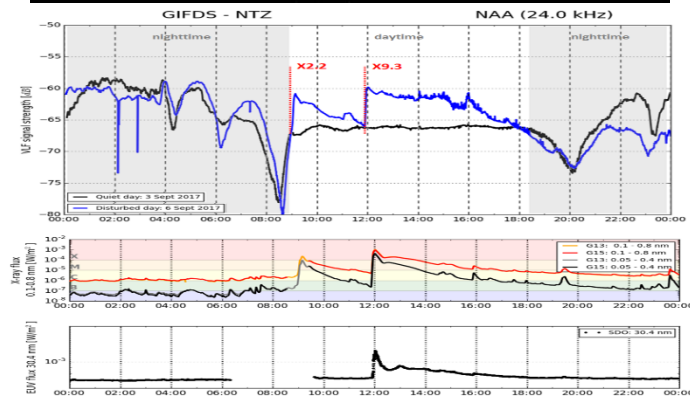
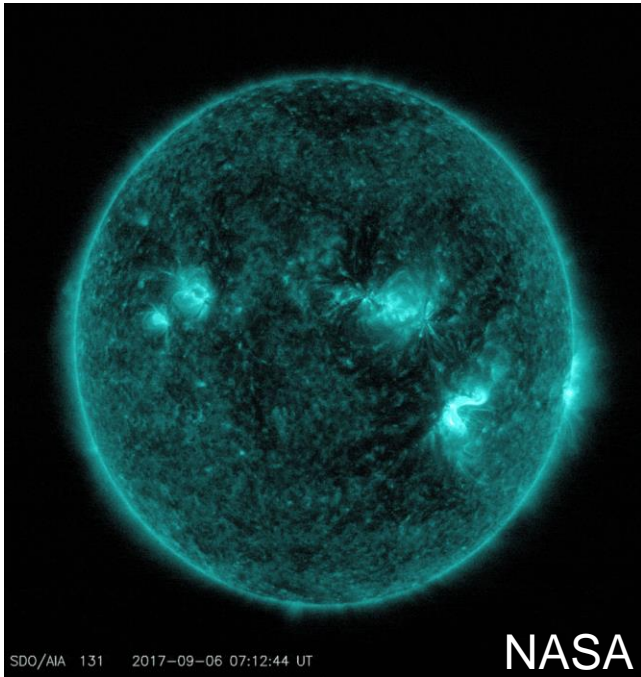


Weltraumwetterereignisse 06-13/09/2017

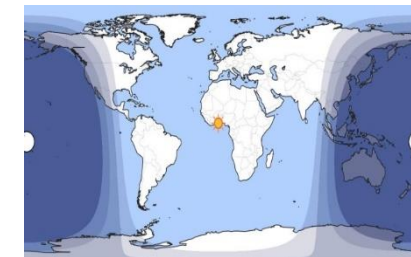
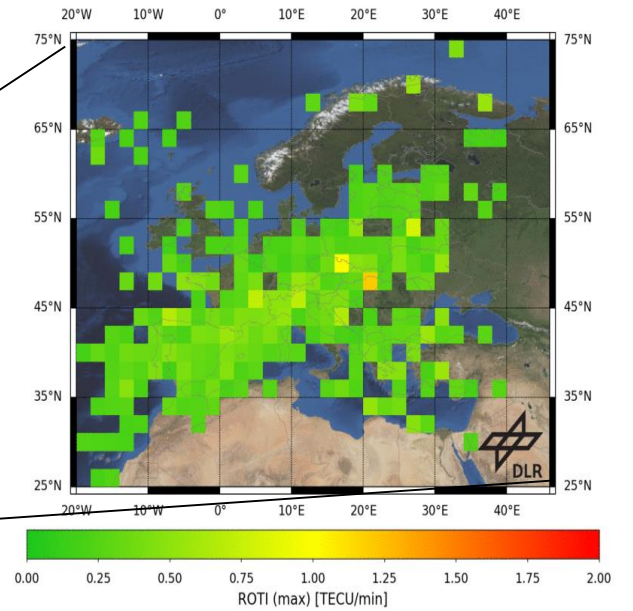


Catania group 46 (NOAA-aktive Region 2673) begann zu wachsen und entwickelte sich über mehrere Tage zu einer magnetisch komplexen Struktur, die eine Reihe von Sonneneruptionen, Radiobursts und CMEs verursachte.

Weltraumwetterereignis am 06.09.2017 (Sonneneruption X 9.3, Rang 14)



Maximal Rate of TEC index - 1 min update 2017-09-06T11:45:00



(Letzter X-Flare dieser Größenordnung war am 05/12/2006 X 9.0)

Weltraumwettereinfluss auf GNSS – Solar Flare



Quelle: X9.3 Solar Flare am 6.

September 2017

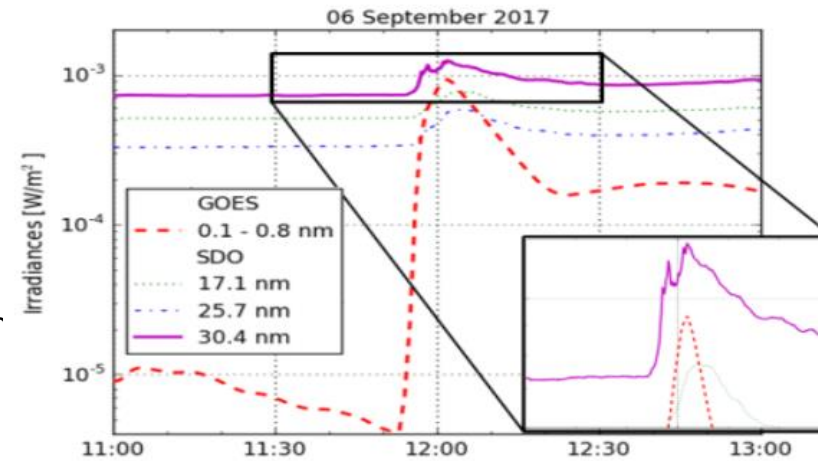
Region: Tagseite

Dauer: Minuten

Auswirkung: Sonneneruptionen mit einer starken EUV-Komponente um 30 nm können die GNSS-Dienste, die z. B. in der Luftfahrt und der Seeschifffahrt eingesetzt werden, ernsthaft beeinträchtigen. Alle betrachteten GNSS-Satellitensysteme, einschließlich GPS, GLONASS und Galileo, waren in ähnlicher Weise betroffen.

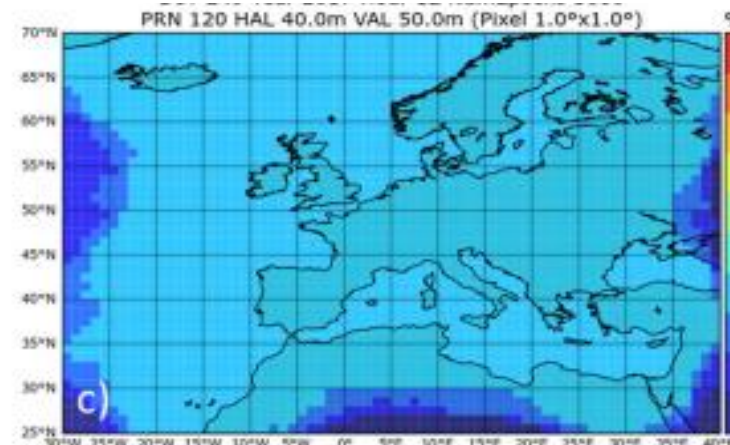
Berdermann, J., Kriegel, M., Banys, D., Heymann, F., Hoque, M. M., Wilken, V., et al. (2018). Ionospheric response to the X9.3 Flare on 6 September 2017 and its implication for navigation services over Europe. Space Weather, 16.

<https://doi.org/10.1029/2018SW001933>



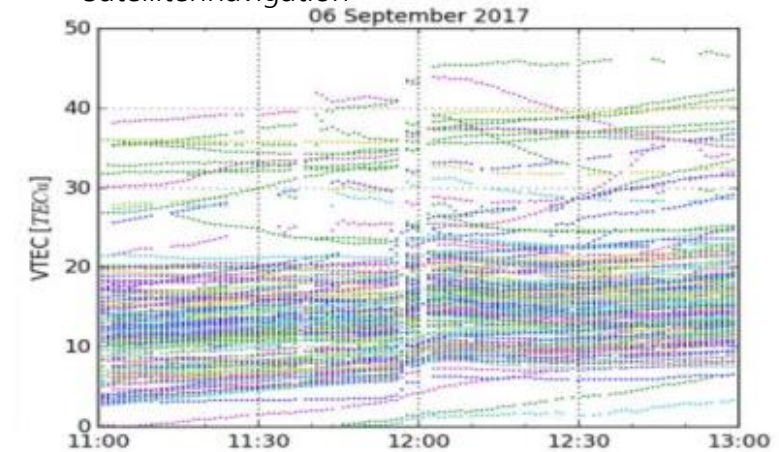
EGNOS Service

European Geostationary Navigation Overlay Service



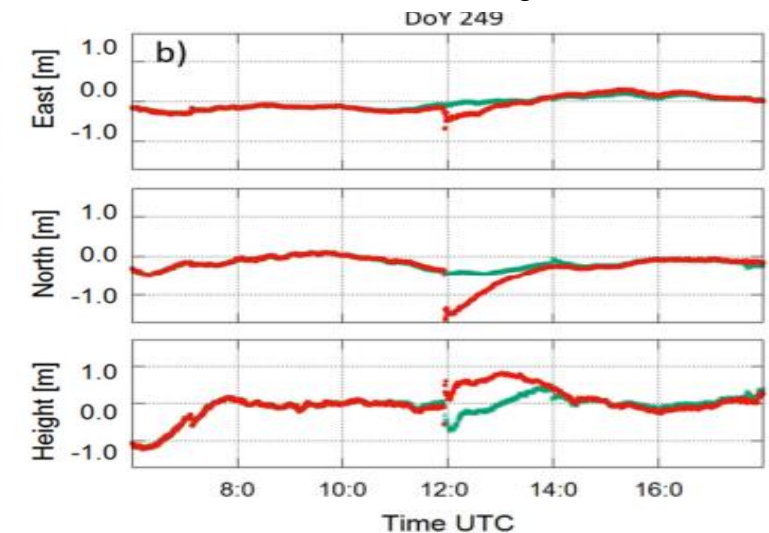
Loss of Lock

Verlust des Nutzsignals in der Satellitennavigation



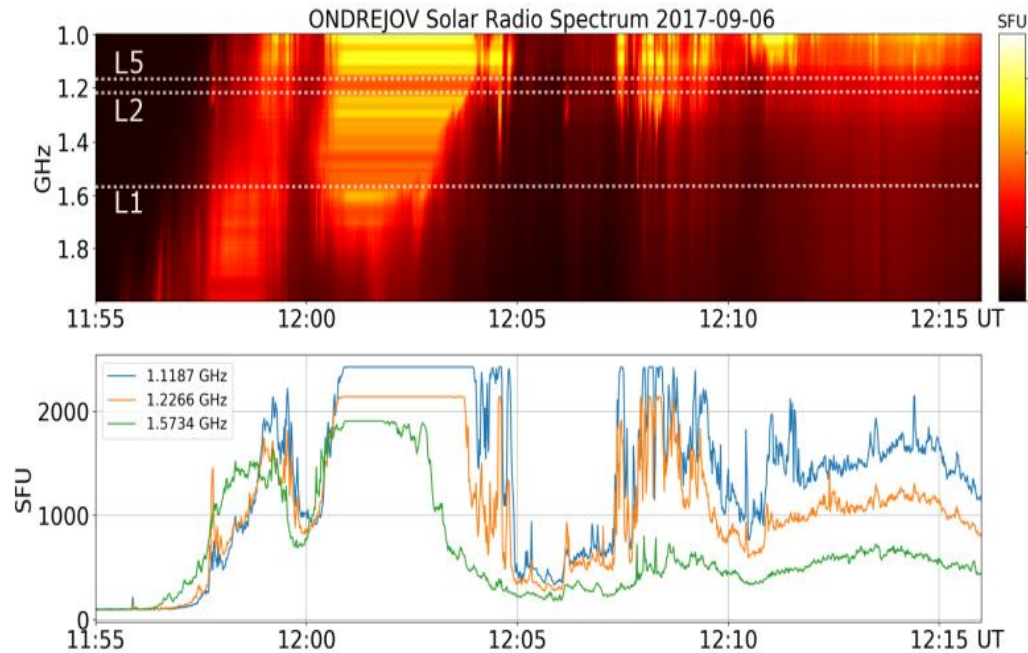
Precise Point Positioning

Präzise Punkt-Positionierung



Weltraumwettereinfluss auf GNSS – Radio Burst

Solar Radio Burst Beobachtung am 6. September 2017



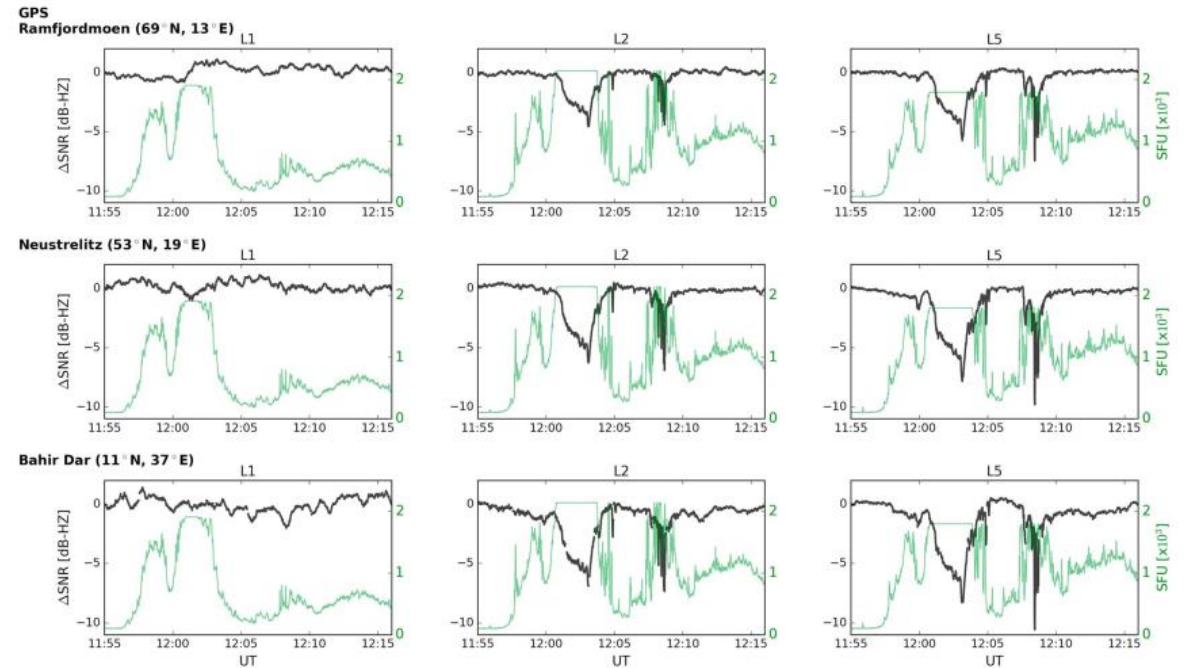
Ondrejov-Sonnenradiospektrum im 1,0- bis 2,0-GHz-Bereich (oben) und Flussintensität in der Nähe der GPS-Frequenzen (unten).

Quelle: Solar Radio Burst am 6. September 2017

Region: Tagseite

Dauer: Minuten

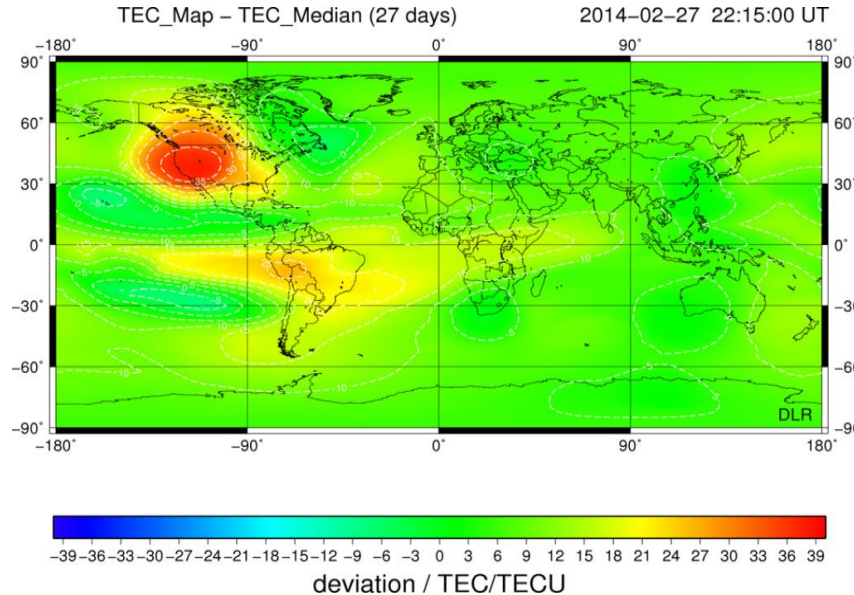
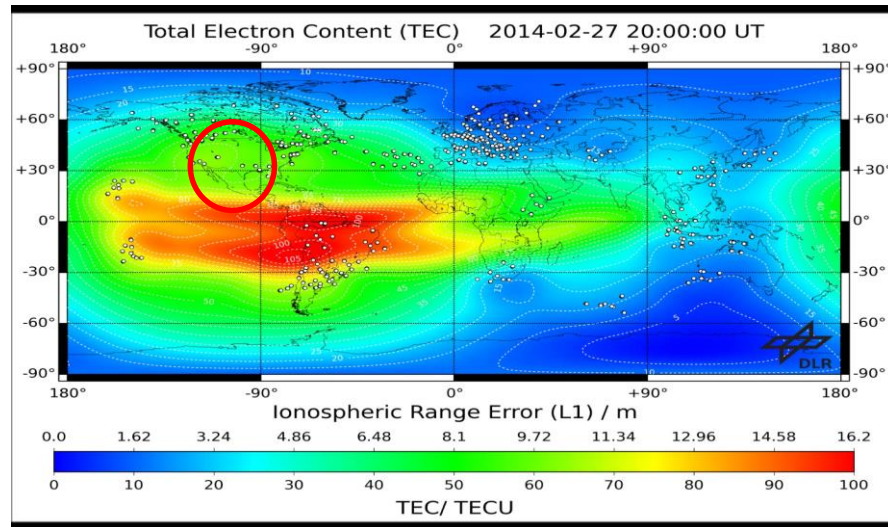
Auswirkung: Reduktion des Signal-Rausch Verhältnisses für die GPS L2/L5 und GALILEO L5 Frequenzen. Alle betrachteten GNSS-Satellitensysteme, einschließlich GPS, GLONASS und Galileo, waren ähnlich betroffen.



Signal-Rausch-Verhältnis für verschiedene GPS-Frequenzen in hohen, mittleren und niedrigen Breitengraden.

Weltraumwettereinfluss auf GNSS – Ionosphärensturm

Ionosphärischer Sturm am 27./28. Februar 2014 ausgelöst durch einen koronalen Massenauswurf (CME)

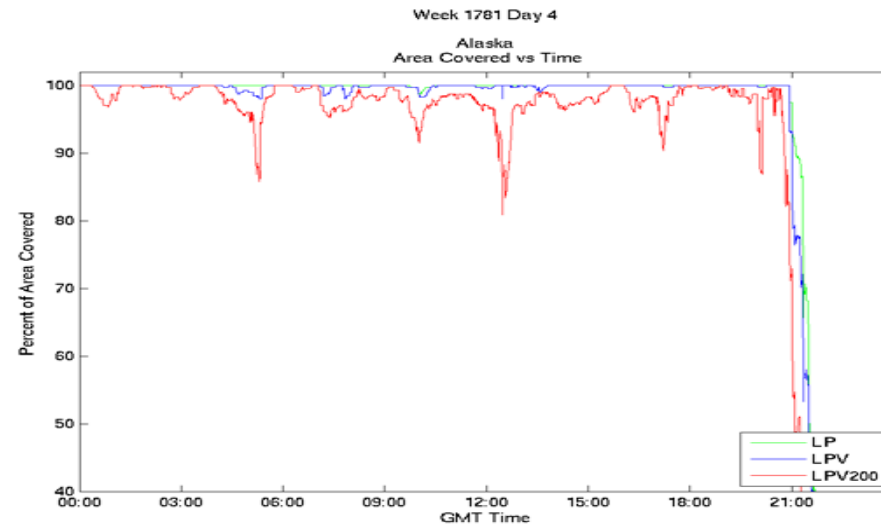


Quelle: Ionosphärensturm am 27.02.2014

Region: Nordamerika

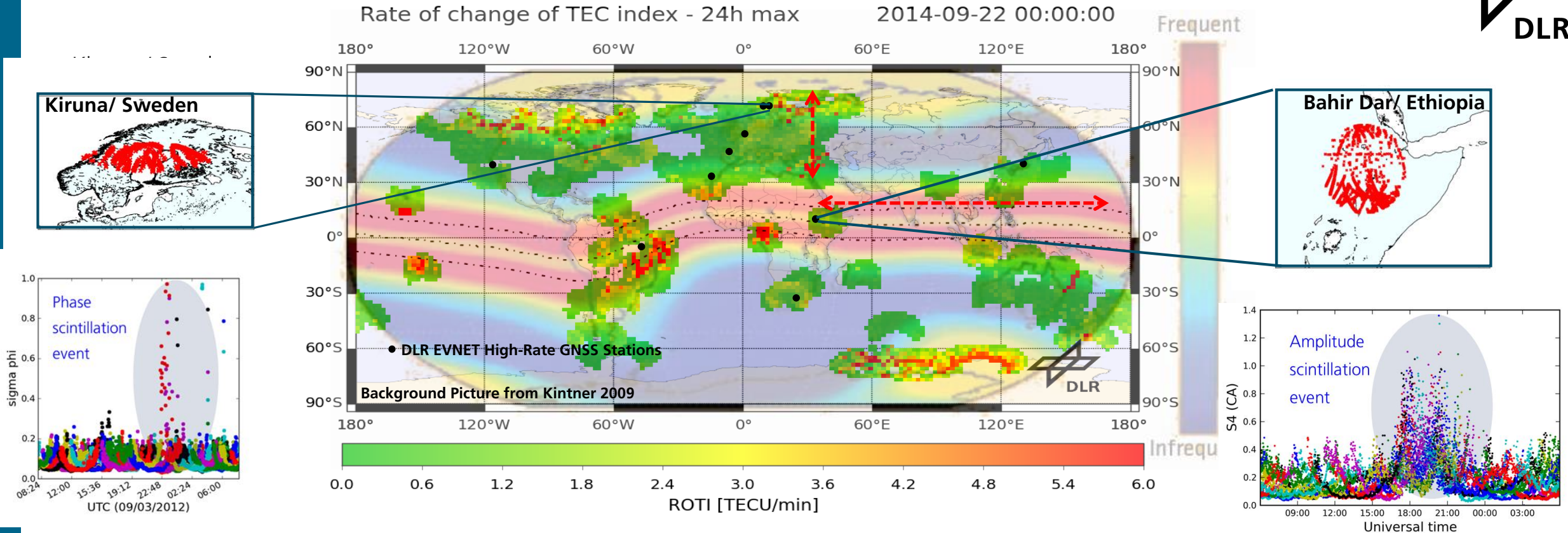
Dauer: ca. 3h

Impact: Ausfälle von SBAS aufgrund von sturmbedingten Ionosphären-Störungen
Keine LPV Verfügbarkeit des US Wide Area Augmentation System (WAAS) über Alaska
(Localizer Performance with Vertical Guidance)



WAAS
Wide Area Augmentation System

Weltraumwettereinfluss auf GNSS – Kleinskalige ionosphärische Unregelmäßigkeiten



Polarregionen:

Quelle: Geomagnetische Stürme

Auswirkung: Das GNSS-Signal wird gestört und kann in schweren Fällen verloren gehen.

Äquatorialregion:

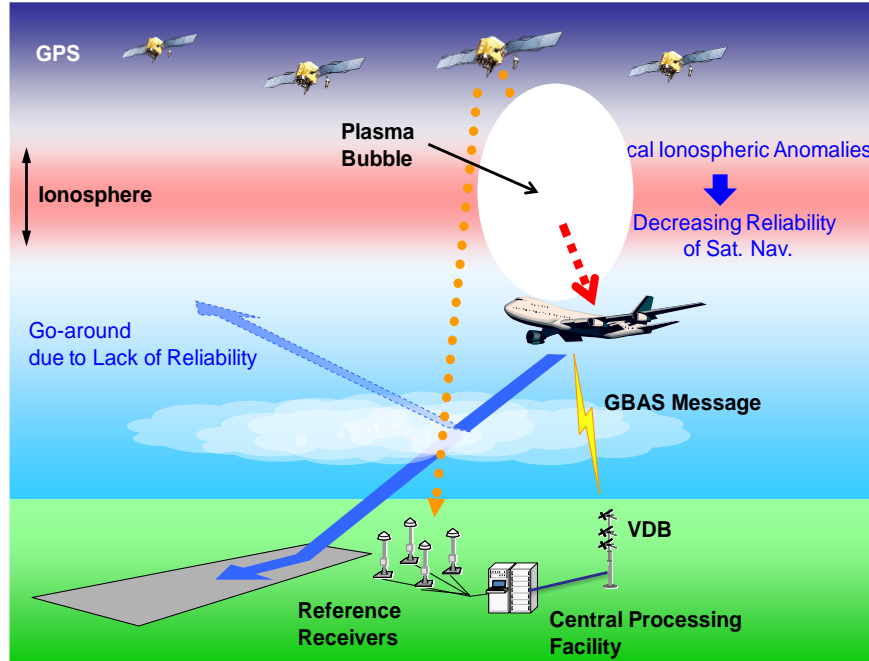
Quelle: Strömungsinversion des äquatorialen Plasmas während der Abendstunden

Impact: Das GNSS-Signal wird durch ionosphärische Unregelmäßigkeiten (Plasmablasen) gestört und kann in schweren Fällen verloren gehen.

Weltraumwettereinfluss auf GNSS – Kleinskalige ionosphärische Unregelmäßigkeiten

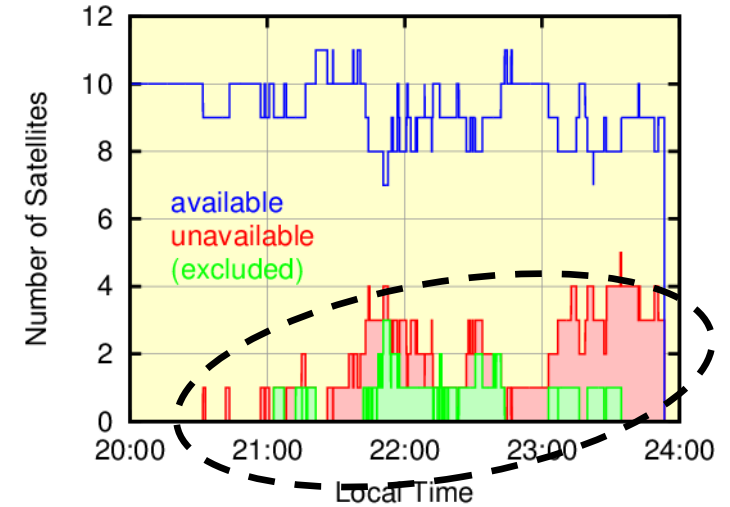


Plasmablase verschlechtern die GNSS Information bei Präzisionsanflügen

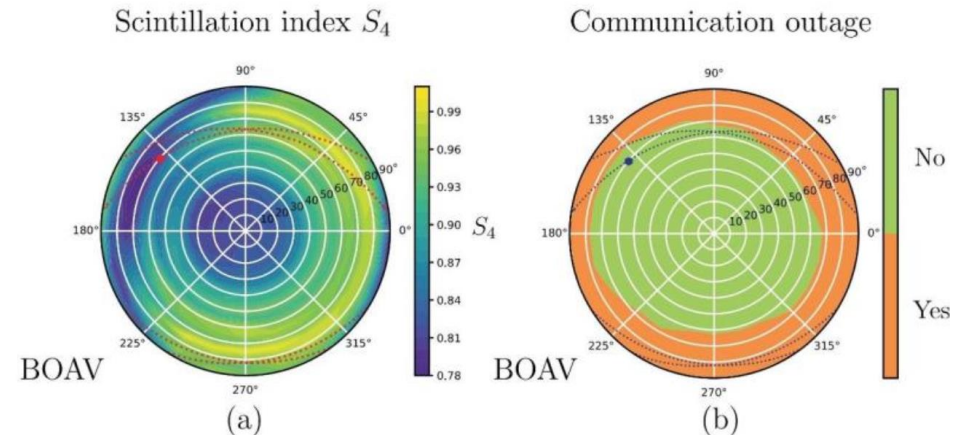


Zwei voneinander abweichende Informationen können zu gefährlichen irreführenden Situationen führen.

Das GNSS-Signal wird durch ionosphärische Unregelmäßigkeiten (Plasmablase) gestört und kann in schweren Fällen verloren gehen.



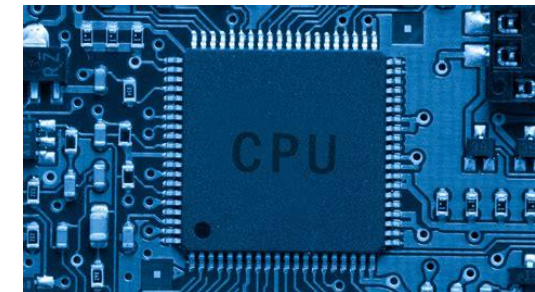
Szintillationseffekte bei UHF-Satellitenkommunikationssystemen



Risiko eines Kommunikationsausfalls aufgrund von Szintillation.

Auswirkung der solaren Teilchenstrahlung auf die Elektronik

- Technische Geräte auf der Erde und im Orbit können durch die hochenergetischen Teilchen oder indirekte Auswirkungen des Sonnenwindes beschädigt werden
- Durch die ionisierende Wirkung können Computerchips (Speicher) unerwünscht elektrisch aufgeladen werden
- Flash-Speicher oder CPUs mit ihren winzigen Strukturen (~ 14 nm Breite) können ihren Zustand ändern, wenn sie von geladenen Teilchen getroffen werden, so dass dort, wo vorher eine logische "1" war, jetzt eine unlogische "0" ist und umgekehrt. Dies kann eine Reihe von Problemen verursachen.
- Missionen im Planetensystem sind von den Auswirkungen besonders betroffen



Weltraumwetter Bedeutung für die Erkundung unseres Planetensystem

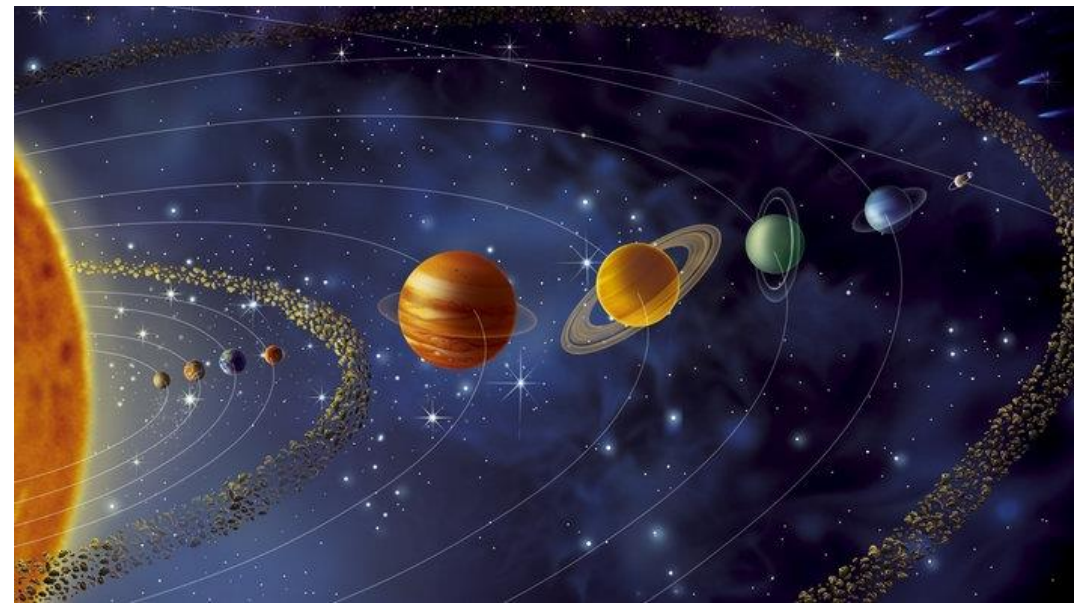
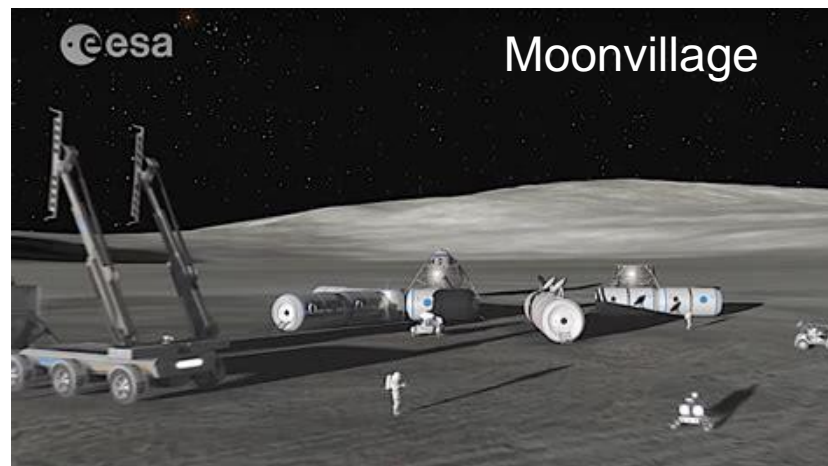
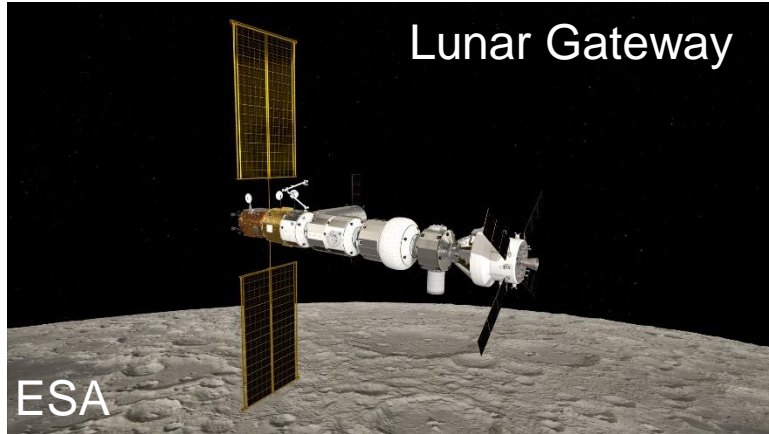


Image from www.planet-wissen.de



Image from National Geographic

Strahlenbelastungen der Astronauten spielen bei den Planungen für bemannte Flüge zum Mond und Mars eine entscheidende Rolle

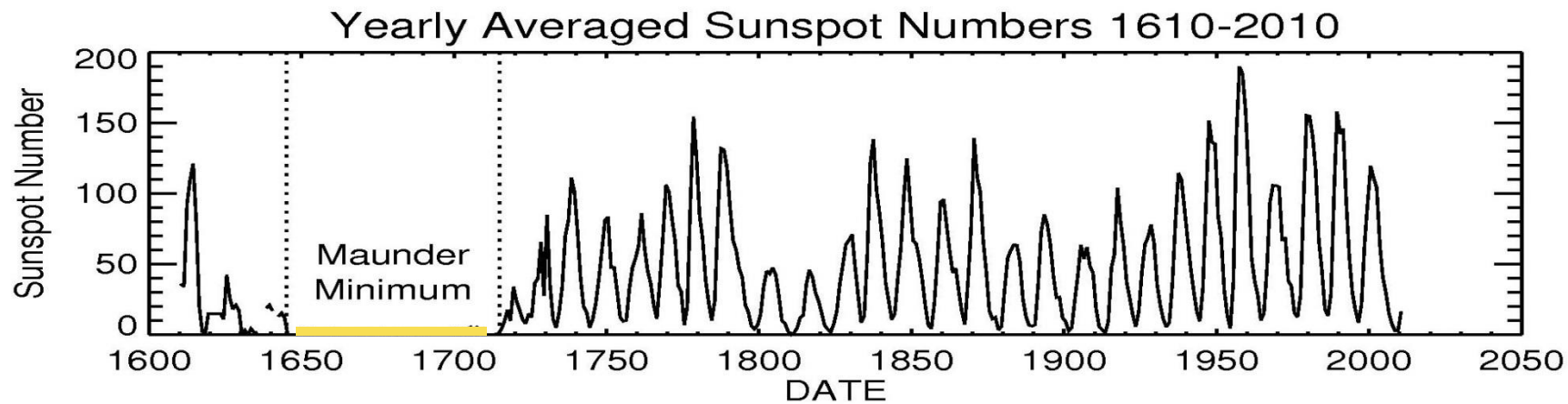
Höhe/Mission	Flugzeit	Dosis (ruhige Sonne)
Erdboden (0 m)	365 Tage	0,3 mSv (kosmisch)
10 km (Flugreishöhe)	365 Tage	40 mSv
300-400 km (ISS)	365 Tage	100-200 mSv
Apollo 11 (1. Mondlandung)	195 Stunden	6,1 mSv
Etwaiger zukünftiger Flug zum Mars	260 Tage (alle 1,6 Jahre)	2-4 Sv

Schwellendosis für akute Strahlenschäden	250 mSv
Computertomographie (Brustkorb)	6–8 mSv
Röntgenaufnahme (Schädel)	0,1 mSv

Sonnenstürme:

- Bei starken Sonnenaktivitäten (Flares) bzw. Coronaren Mass Ejections (CME) können die Strahlendosisleistungen über Stunden erhöht sein
- Es wurden in starken Flares Dosisleistungen von bis zu 10 Sv pro Tag gemessen
- Weltraumwetterereignisse stellen somit eine zusätzliche große Gefahr für Raumfahrer dar

Klima in Europa während der „kleinen Eiszeit“



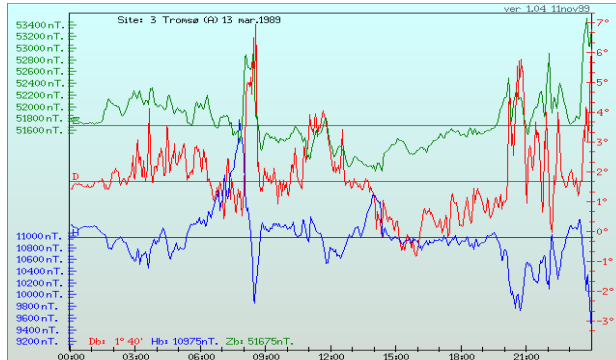
A. Hondius: The frozen Thames, 1677



P. Brueghel - Winter landscape 1620

Solare Zyklen können Einfluss auf klimatische Faktoren haben.

Einfluss des Magnetfeldes auf die Biosphäre – Vögel

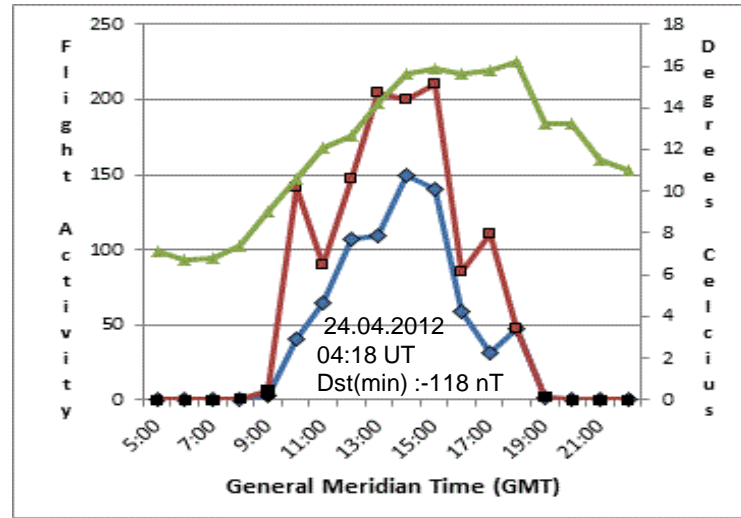


Orientierung:

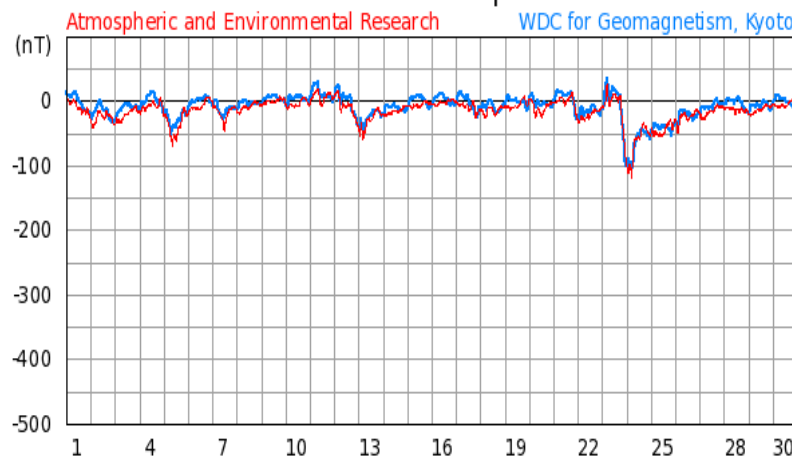
- Landmarken
- Sonnenstandskompass (ältere Literatur bis in 60er Jahre, z.B. v. Frisch)

- Tauben können sich auch bei bedecktem Himmel und in der Nacht orientieren.
- Landmarken und Sonnenstand sind nicht die alleinigen Navigationshilfen der Vögel.
- Magnetfeld-Orientierung an Tauben und anderen Vögeln nachgewiesen.
- Änderungen des Magnetfeldes durch Sonnenstürme können zur Desorientierung führen.
- Sitz des Magnetsinns in der Hornhaut des Auges vermutet.

Einfluss des Magnetfeldes auf die Biosphäre – Bienen



Historical Dst for April 2012



- Das Erdmagnetfeld hat Einfluss auf die Navigation der Bienen im Feld.
- Experiment (Ferrari & Tautz, 2015):

- Bienenstock wurde 3 Sommer (18 Monate) lang überwacht.
- Aus- und einfliegende Bienen wurden mit einer Infrarot-Lichtschanke gezählt.
- Während der gelegentlich auftretenden Magnetstürme gab es bei den heimkehrenden Bienen bis zu 2,7 mal höhere Verluste als gewöhnlich.



➔ Der Magnetsinn der Bienen ist bei geomagnetischen Stürmen wahrscheinlich erheblich gestört.

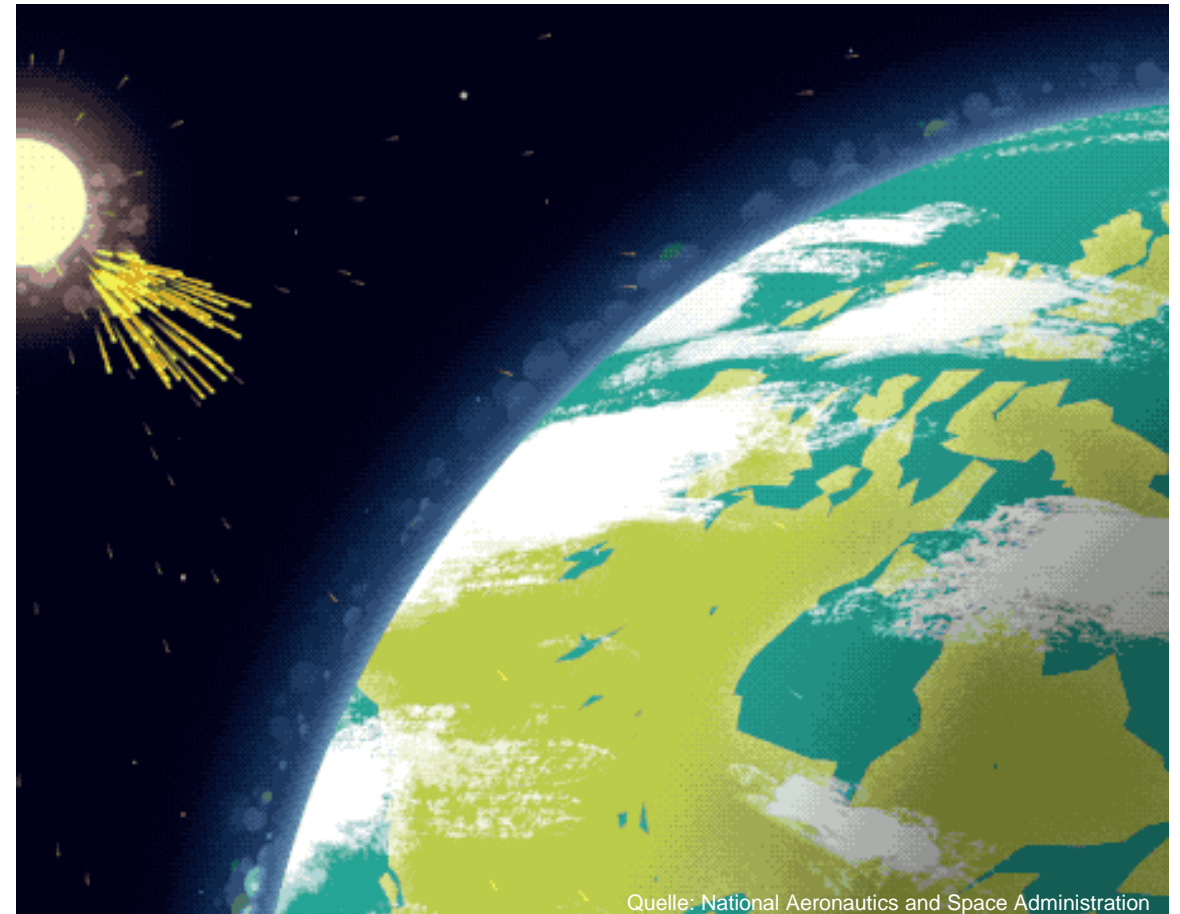
Wie können wir uns schützen?

Wie können wir uns schützen?

Wir brauchen ein Verständnis von ...

- Auswirkungen von Weltraumwetter auf Technologie und Menschen
- Sonnenaktivität
- Erdmagnetfeld
- Atmosphäre mit **Ionosphäre**, Plasmasphäre, Magnetosphäre und Thermosphäre sowie der Kopplungsprozesse unter den verschiedenen Schichten

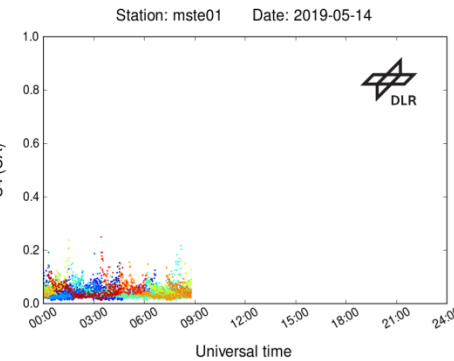
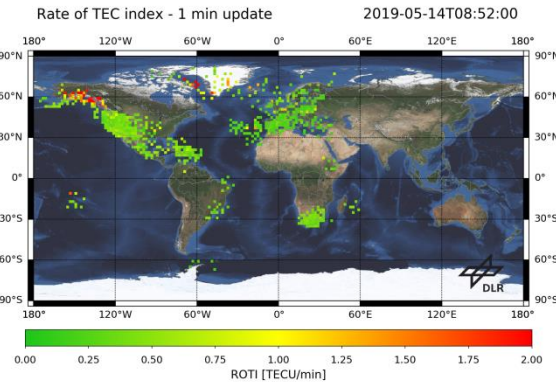
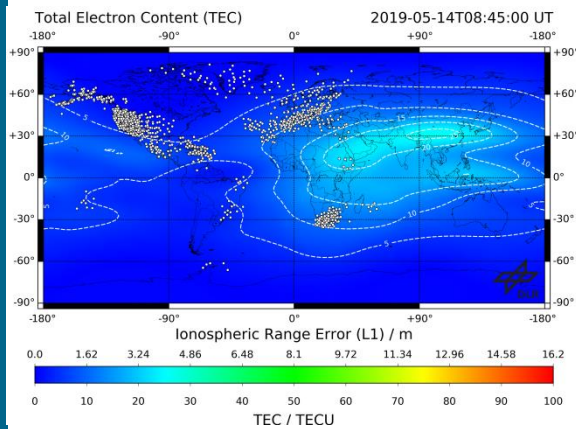
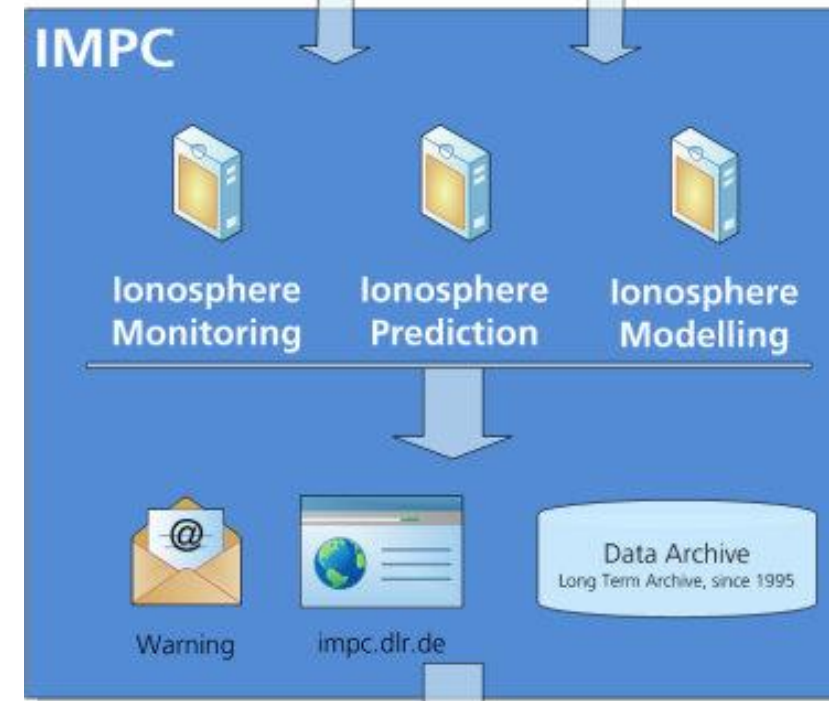
... um einen Vorhersage und Informationsdienst zu erstellen der eine Minimierung der Auswirkungen ermöglicht.



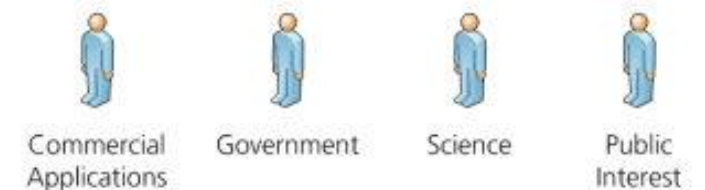
Quelle: National Aeronautics and Space Administration

Ionospheric Monitoring and Prediction Center

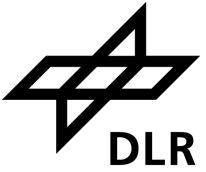
- Das "Ionosphere Monitoring and Prediction Center" (IMPC) des DLR liefert Echtzeitinformationen und Datenservices über den aktuellen Zustand, sowie Vorhersage und Warnungen zur Ionosphäre.
- IMPC stellt einen Service bereit für:
 - Wissenschaft
 - Regierungsentscheidungen
 - Kommerzielle Anwendungen
 - Öffentliches Interesse



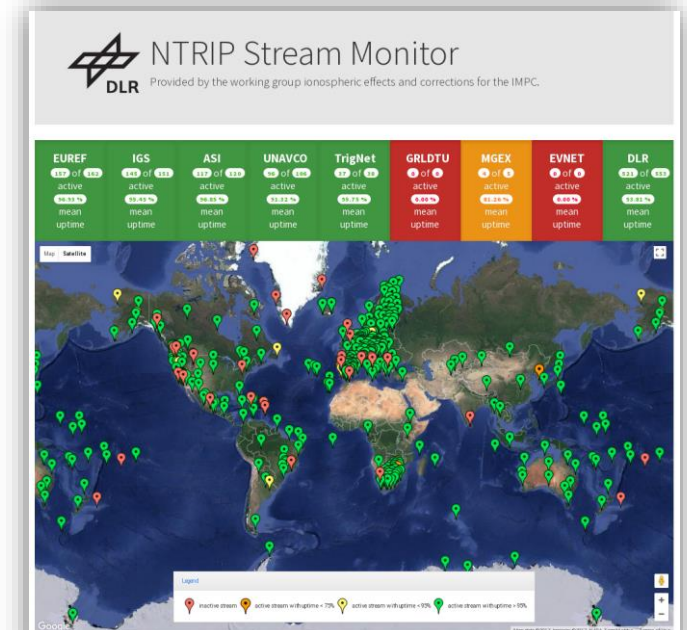
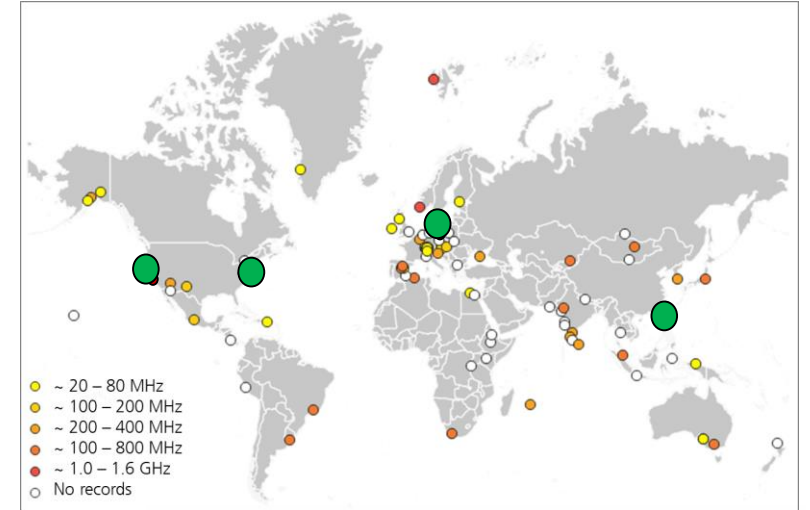
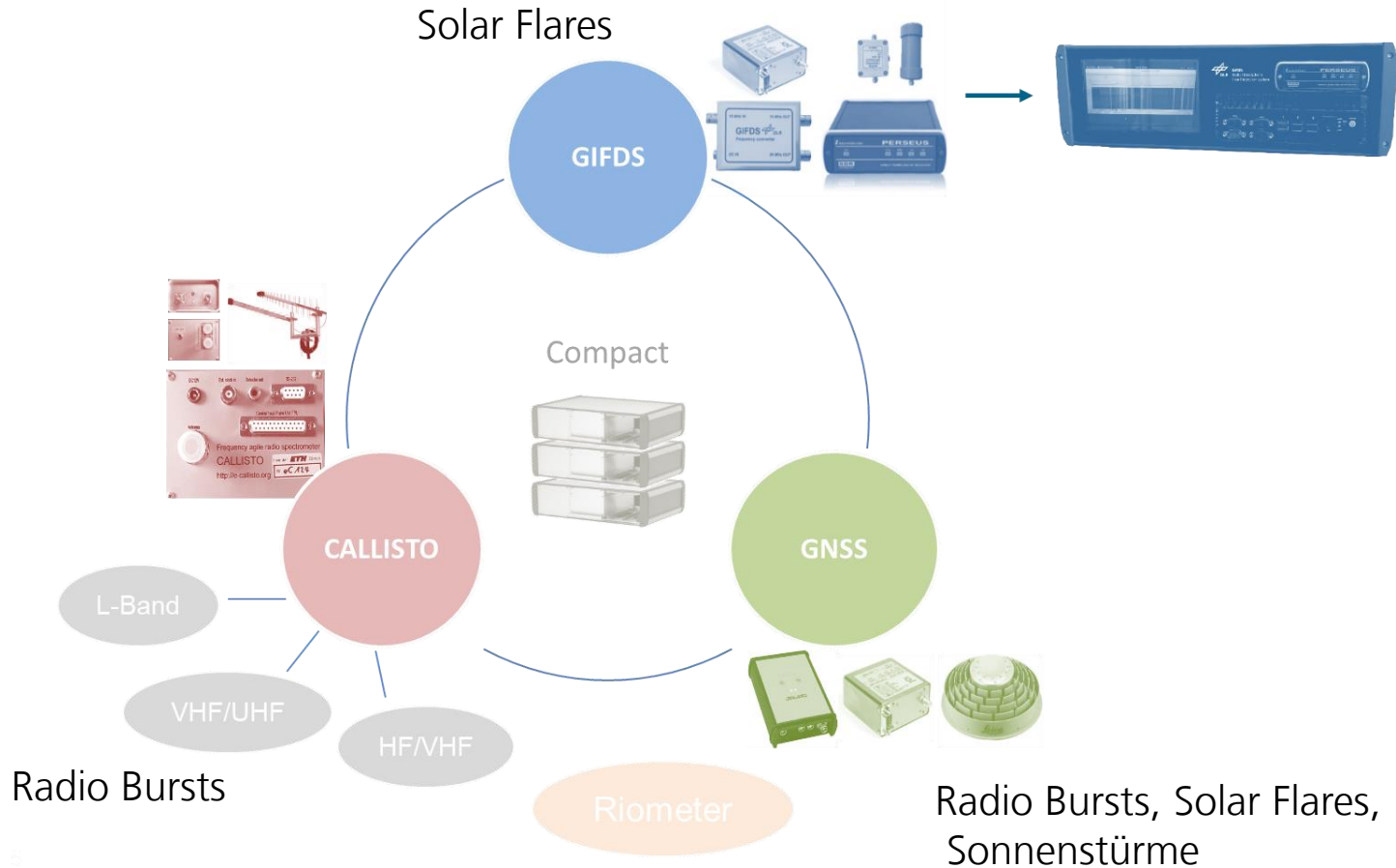
→ Kontinuierlicher Echtzeitservice



SIGN Solar-Ionospheric Global Network



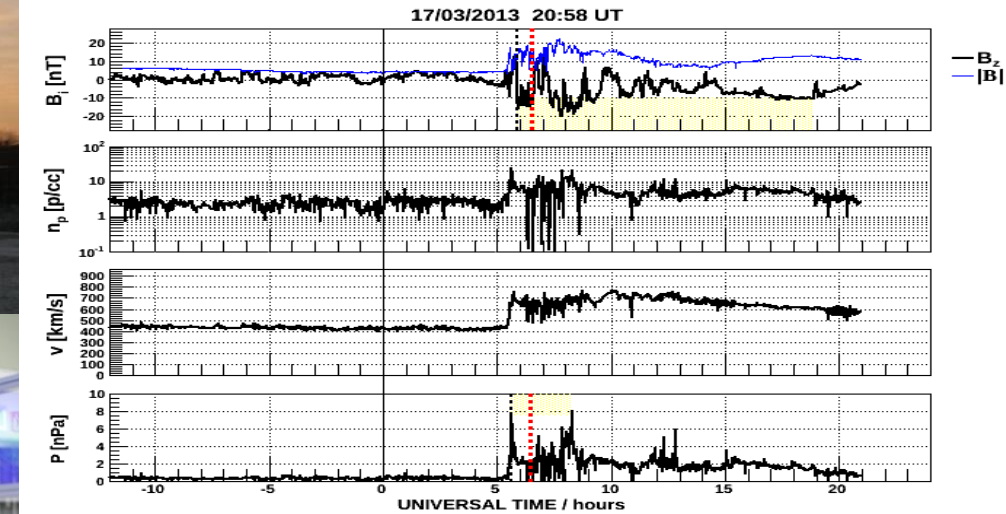
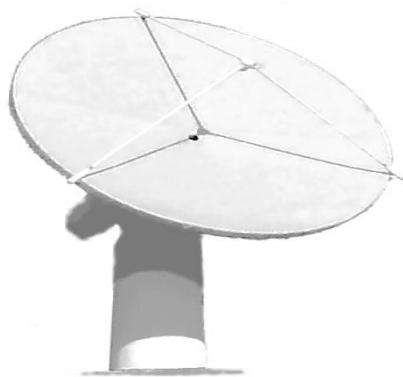
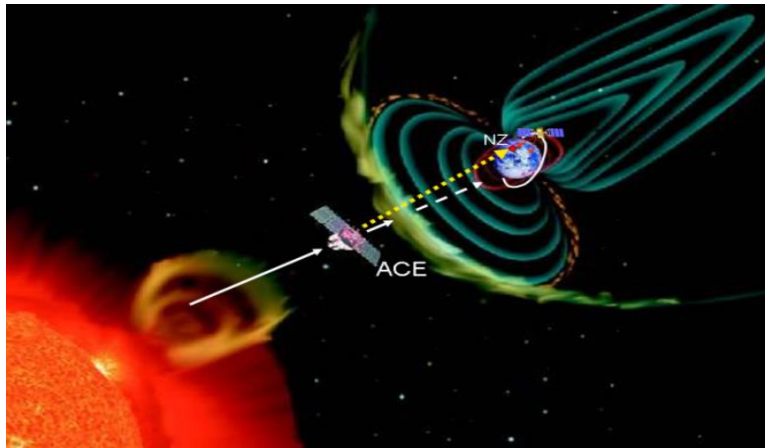
Entwicklung und Bau einer kompakten Weltraumwetterstation zur Erforschung und Echtzeitbewertung der Weltraumwetterlage.



Belastbare Informationen und Vorhersagen zum frühestmöglichen Zeitpunkt



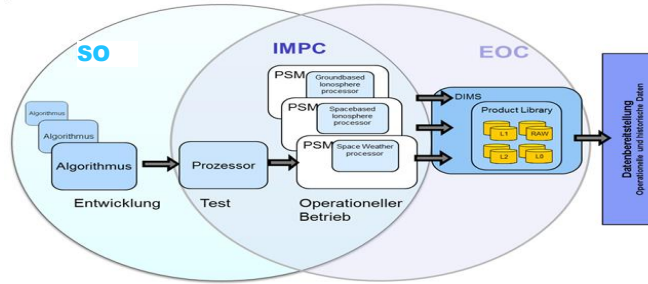
Das DLR ist Mitglied des Real Time Solar Wind (RTSW) Beobachtungsnetzwerkes und engagiert im Datentransfer und der Analyse des NASA's Advanced Composition Explorer (ACE) und des Deep Space Climate Observatory (DSCOVR) Satelliten.



Präoperative Dienste und Validierung



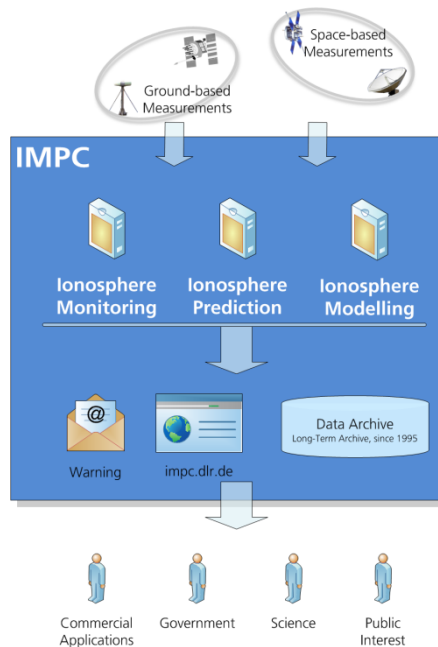
Entwicklung prototypischer Dienstleistungen und Anwendungen am DLR-Institut für Solar-Terrestrische Physik (**DLR-SO**)



Bereitstellung von Webservices und Datenprodukten durch das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum (**DLR-DFD**)

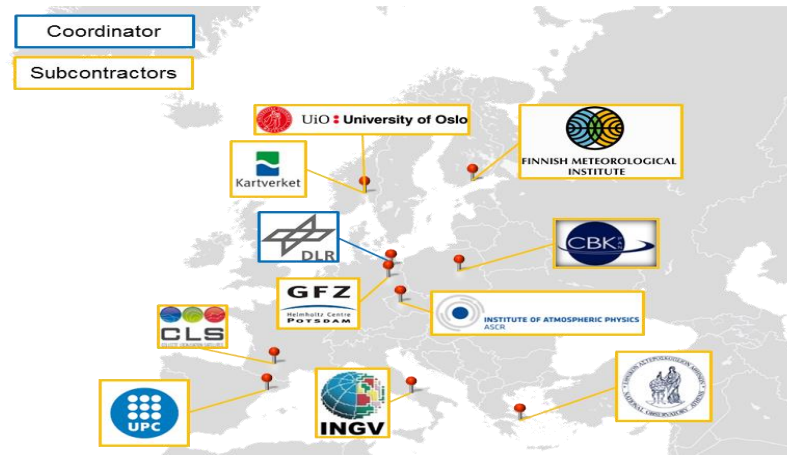
IMPC

DLR-SO betreibt eine prä-operationelle Echtzeitüberwachung und Vorhersage von ionosphärischen Bedingungen.



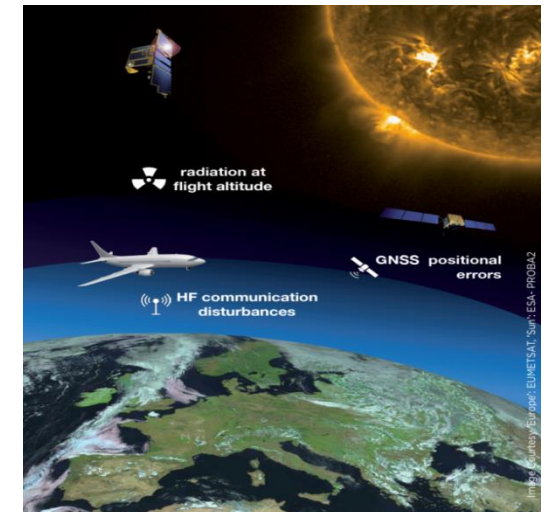
ESA SSA SWE I-ESC

Im Bereich Weltraumwetter koordiniert DLR-SO das ESA Expert Service Center für Ionosphärenwetter.



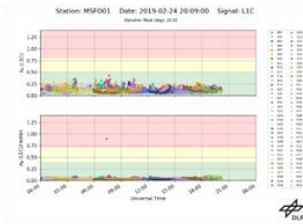
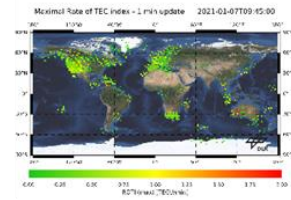
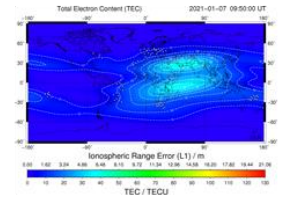
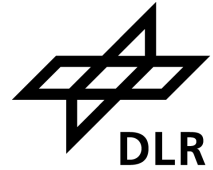
PECASUS

Das PECASUS Konsortium betreibt seit dem 07.11.2019 ein globales ICAO-Weltraumwetterzentrum in welchem DLR-SO die GNSS-Nutzerdienste entwickelt und Daten bereitstellt.



PECASUS für ICAO (International Civil Aviation Organization)

Das PECASUS-Konsortium ist eines der vier globalen Zentren, die Weltraumwettervorhersagen gemäß der ICAO-Vorgaben liefern.



Kontinuierliche Echtzeitlieferungen von GNSS-bezogenen Weltraumwetterdaten und wissenschaftliche Unterstützung im Falle von Ereignissen

ICAO Weltraumwettervorhersagen

PECASUS DASHBOARD
PECASUS DUTY STATUS: On Duty Centre

GNSS	Moderate	Severe	Time UTC	Values	Status	Alert	Max-3h values	Max-3h status
Amplitude Scintillation	0.5	0.8	2021-01-07 09:20	0.28	QUIET		0.35	QUIET
Phase Scintillation	0.4	0.7	2021-01-07 09:20	0.19	QUIET		0.18	QUIET
Vertical TEC	125	175	2021-01-07 09:25	39.77	QUIET		39.77	QUIET

RADIATION	Moderate	Severe	Time UTC	Flags	Status	Alert	Max-3h flags	Max-3h status
Effective Dose FL5460	30	80	2021-01-07 09:30	0	QUIET		0	QUIET
Effective Dose FL > 460	/	80	2021-01-07 09:30	0	QUIET		0	QUIET

HF COM	Moderate	Severe	Time UTC	Values/Flags	Status	Alert	Max-3h values	Max-3h status
Auroral Absorption (AA)	8	9	2021-01-07 09:27	1.0	QUIET		2.0	QUIET
Polar Cap Absorption (PCA)	2	5	2021-01-07 09:30	0.09	QUIET		0.09	QUIET
Shortwave Fadeout (SWF)	x1.0	x10.0	2021-01-07 09:30	< M.5-flare	QUIET		< M.5-flare	QUIET
Post-Storm Depression (PSD)	30%	50%	2021-01-07 09:30	0	QUIET		0	QUIET

Sound alarm is triggered when MOD or SEV thresholds are exceeded.
Alarm will NOT ring for OUTDATED data status.



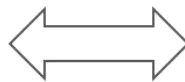
Warnings

- 2021-01-07 09:33:00
WOREP PC12 REP 0930 EFKU TMA MOD ICE BLW 3000FT+
- 2021-01-07 08:37:00
WOREP HN REP 0830 EFKU TMA MOD ICE 2000FT+
- 2021-01-07 08:31:00
EFIN ARS MED ACFT SEV ICE OBS AT 0815Z EFJY TMA BLW 2500FT+

Warnings (current + 24h history)

- 2021-01-05 10:20:00
FN0001 EFKL 051021
SWX ADVISORY
STATUS: TEST
DTG: 20210105/1020Z
SWXC: PECASUS
ADVISORY NR: 2021/1
SWX EFFECT: GNSS MOD
OBS SWX: 05/1000Z NO SWX EXP
FCST SWX +6 HR: 05/1600Z NO SWX EXP
FCST SWX +12 HR: 05/2200Z NO SWX EXP
FCST SWX +18 HR: 06/0400Z NO SWX EXP
FCST SWX +24 HR: 06/1000Z NO SWX EXP
RMK: TEST TEST TEST. THIS IS A TEST SPACE
WEATHER ADVISORY, PLEASE DISREGARD.
NXT ADVISORY: NO FURTHER ADVISORIES=

Finnish Meteorological Institute
ilmailu@ilmatieteenlaitos.fi
0600 9 3808 (2,53€/min)



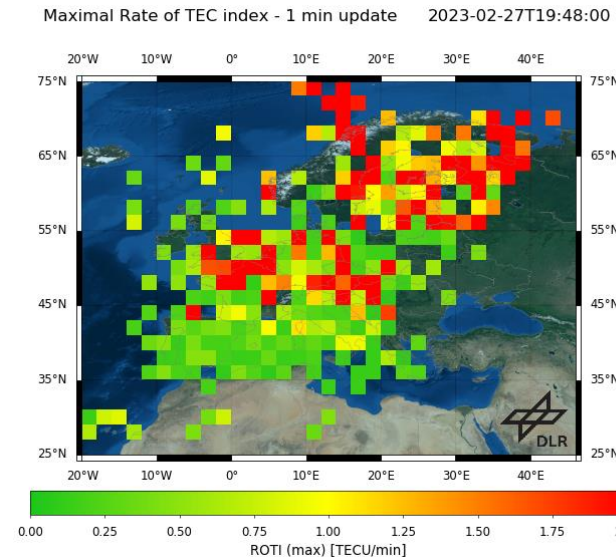
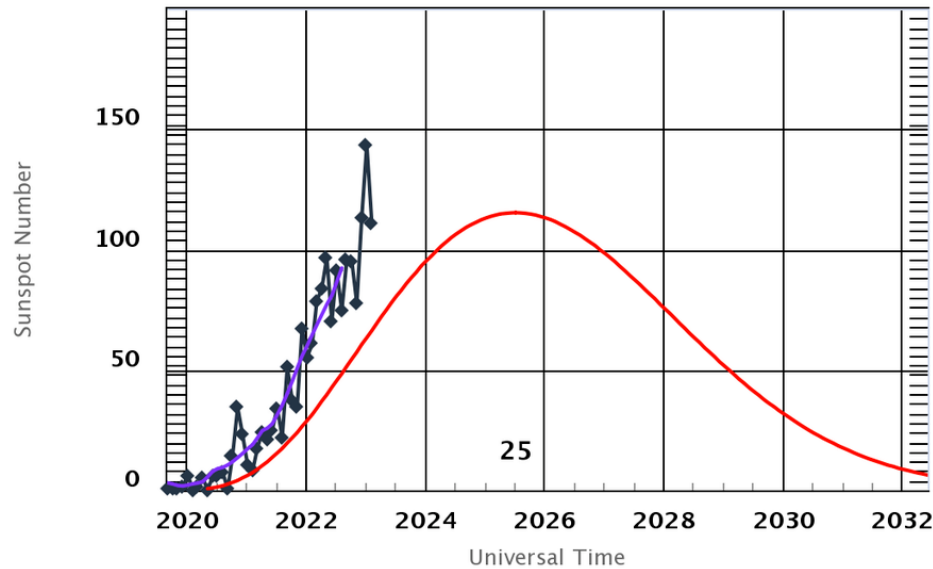
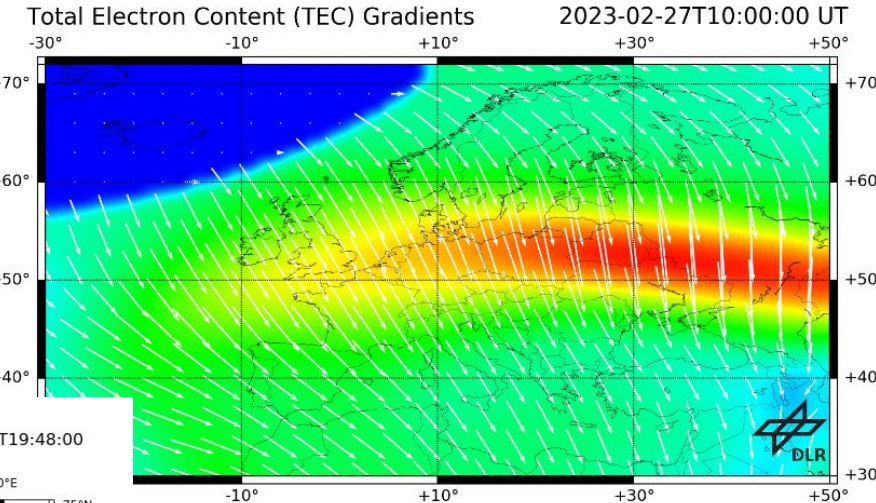
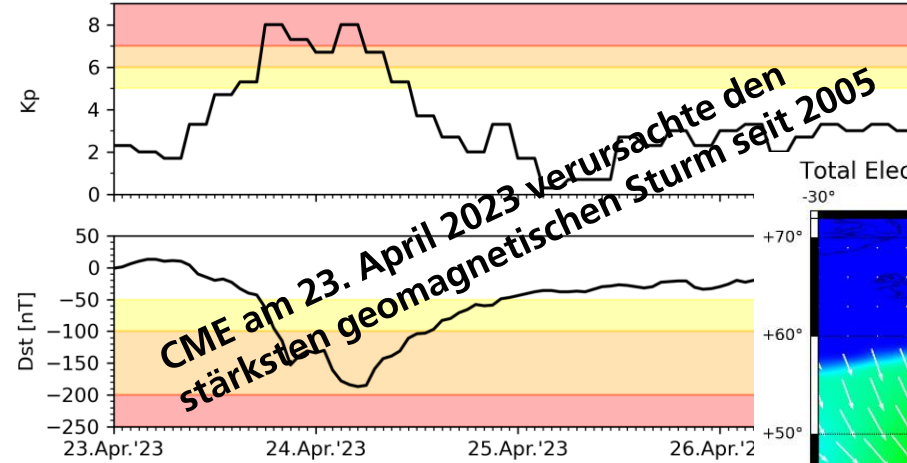
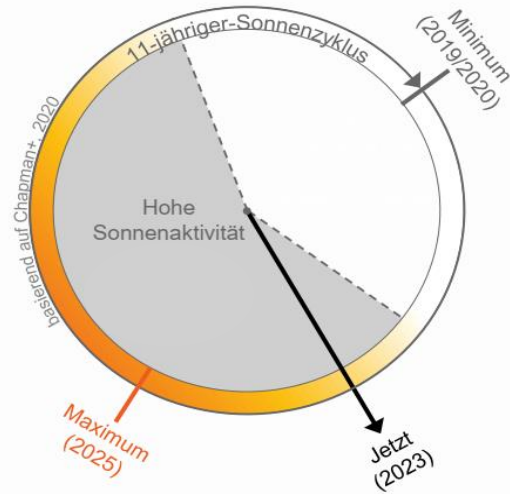
Datenanalyse, Ereigniserkennung, Entscheidungsfindung, Alarmierung



Wie ist die aktuelle Weltraumwettersituation?

Die aktuelle Weltraumwetterlage ist optimal für die Analyse von Auswirkungen!

Weltraumwetterereignisse mit mäßigen und schweren geomagnetischen Stürmen, die z.B. Satellitennavigation beeinträchtigen, werden auf dem bevorstehenden Weg zum Sonnenmaximum erwartet



Ionosphärische sturmbedingte ionosphärische Gradienten bewirkten das Auftreten von Szintillationen am 27. Februar 2023.

Polarlichter über Deutschland



Tagesspiegel

Polarlichter in der Nacht zum 24. April 2023 über dem Ostseestrand in Wisch bei Kiel.

© : picture alliance/AP



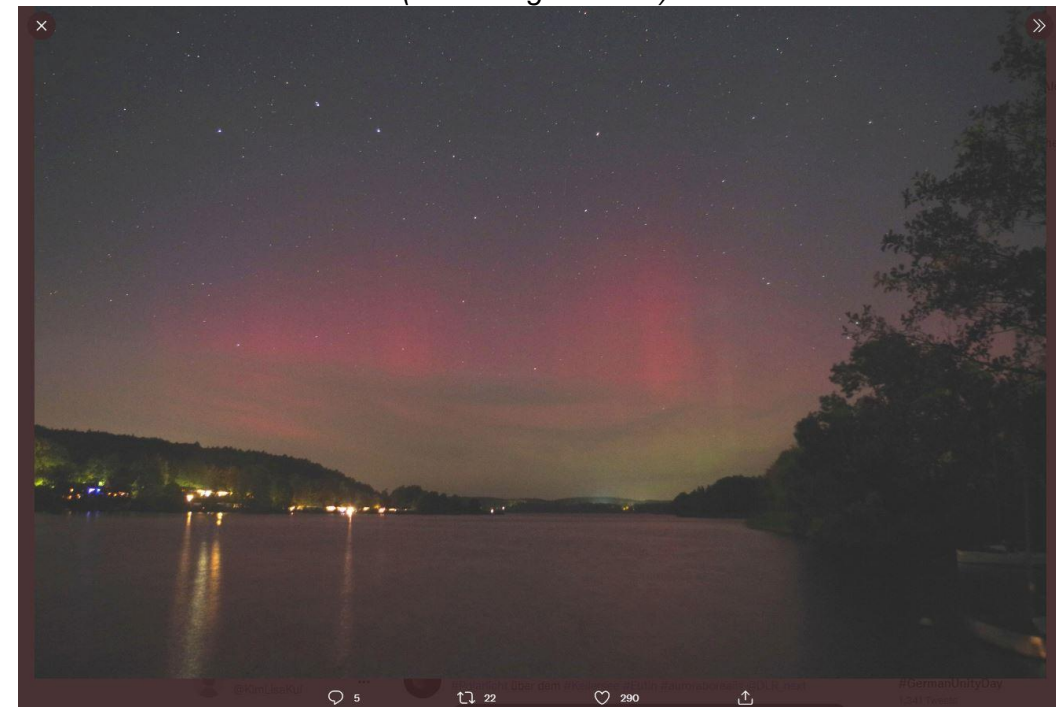
Polarlichter über Berlin (Adlershof) am 25. September 2023 gegen 1 Uhr früh.

© IMAGO/Krauthöfer



Polarlichter über Friesland (Schillig) am 25. September 2023. © Markus Hibbeler/dpa

Polarlicht Kellerssee in Eutin (Schleswig-Holstein) 03.10.2022



StefanH @BPruefSH
Heute Abend Polarlicht über dem Kellerssee @stadteutin @DLR_next
Translate Tweet
11:32 PM · Oct 3, 2022 · Twitter for Android
21 Retweets 1 Quote Tweet 290 Likes
Tweet your reply Reply
Christina v... @tina_v... · 2m
Replying to @BPruefSH @stadteutin and @DLR_next
Was für ein tolles Bild! Da würden wir gern mehr zu wissen und freuen uns über Kontaktaufnahme :-) Viele Grüße aus Lübeck
TobEy @OrNotTobey · 1h
Replying to @BPruefSH @stadteutin and @DLR_next
Sogar in passenden Farben zum Tag der deutschen Einheit 🇩🇪
Was für ein Service!
Martina mit Ma... @H... · 3h
Replying to @BPruefSH @DLR_next

Auswirkungen?



WICHTIGE INFO: POSITIONS- ABWEICHUNGEN BEI IHREN GNSS- MESSUNGEN

WWW.ATTENBERGER.DE

Sehr geehrte Damen und Herren,

derzeit erreichen uns immer wieder Meldungen über Positionsabweichungen bei GNSS-Messungen. Die Ursache liegt hierbei nicht beim Empfänger selbst, sondern in einer **stark erhöhten Sonnenaktivität**.

Durch diese steigen die ionosphärischen Einflüsse so hoch an, dass die Laufzeit der Satellitensignale verzögert und somit die Zuverlässigkeit und Qualität der Positionsbestimmung mit Ihren GNSS-Empfängern und SAPOS® bzw. APOS beeinflusst werden kann.

In Folge dessen ist mit **längeren Initialisierungszeiten** sowie einer **stärkeren Streuung der Messergebnisse** zu rechnen.

Wir haben Ihnen **HIER** Handlungsvorschläge zum Umgang mit der erhöhten Sonnenaktivität zusammengefasst.

Zudem empfehlen wir Ihnen die **offizielle Stellungnahme der Zentralen Stelle SAPOS®** zur Thematik. Für Informationen zur Überprüfung der aktuellen Störeinflüsse klicken Sie **HIER**. Bitte beachten Sie, dass der 195 Index die Sonnenaktivität nur nachträglich darstellt und die Stärke der Aktivität nicht vorhersagt.

Sollten Sie weitere Fragen haben, hilft Ihnen unser Support-Team gerne weiter: Kontaktieren Sie uns dazu unter info@attenberger.de oder Tel. +49 8085 – 930 510!

Mit freundlichen Grüßen
Ihre Josef Attenberger und Landmark GmbH

DLR_School_Lab Neustrelitz

Leitung: Herr Dr. Weidermann

- 2009 Eröffnung des *einzigsten* DLR_Project_Lab deutschlandweit
- 2011 Eröffnung des DLR_School_Lab in Neustrelitz
 - ca. 5.600 Schülerinnen und Schüler pro Jahr
- 2011 Durchführung des 1. International Space Weather Camp mit Partnern aus den USA und Südafrika
- Verschiedene Angebote im DLR_Academic_Lab für Studierende, Doktoranten und Lehrkräften
- Teilnahme an weiteren Events (LNdW Rostock, Girl's Day, Kinderuni, Tag der Technik, usw.)

DLR_School_Lab



Projekttag (Raketexperiment)

DLR_Academic_Lab



Projektarbeit im Space Weather Camp

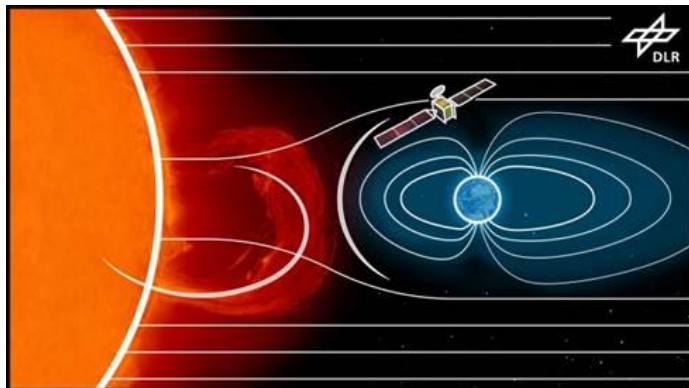


Arbeitsgemeinschaft im DLR_Project_Lab



Lehrerfortbildung im Schülerlabor

Vielen Dank !



Kontakt:

DLR

**Institut für Solar-Terrestrische
Physik**

Dr. Jens Berdermann

Kalkhorstweg 53

D-17235 Neustrelitz

Telefon: +49 3981 480 106

Fax: +49 3981 480 123

Email: jens.berdermann@dlr.de

