Ionosphären-Wetterdienst ein Beispiel für Wissenschaftsanwendung im DLR mit wachsenden Anforderungen an die Speicherinfrastruktur

Klaus-Dieter Missling, Jens Berdermann, Daniela Banys
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

HSM User Konferenz 2019
05. - 07.06.2019
Ulrichshusen

DLR

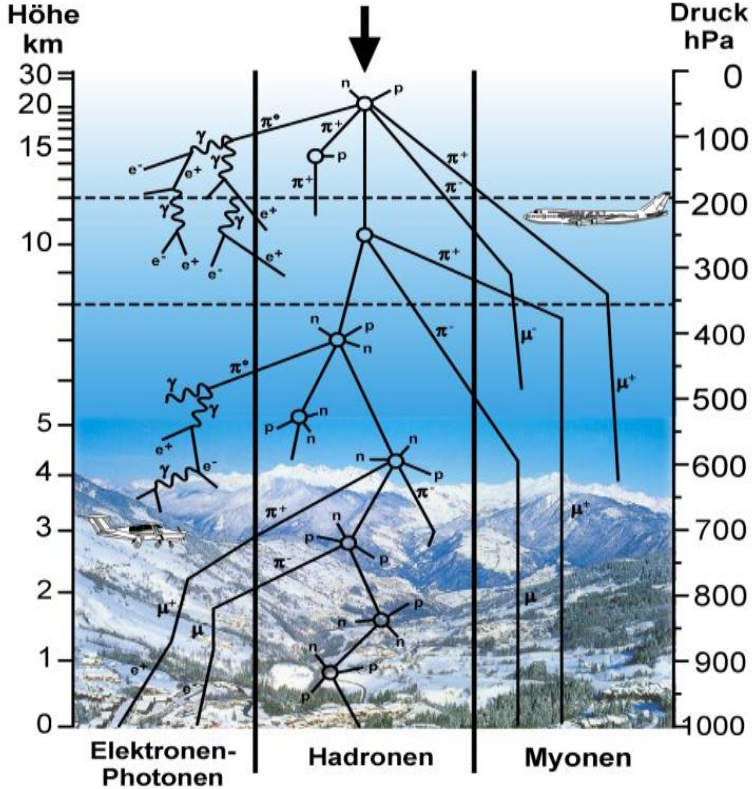
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – Standort Neustrelitz

- Forschungseinrichtung
  - Luftfahrt
  - Weltraumforschung und Technologie
  - Transport
  - Energie
  - Sicherheit, Digitalisierung
- Raumfahrt Agentur/ Projektträger
- ~ 8000 Mitarbeiter / 33 Instituten / 20 Standorte
- DLR Neustrelitz ~80 Mitarbeiter/ fast 1 Institut
- Themenbereichen satellitengestützte Erdbeobachtung und Navigation

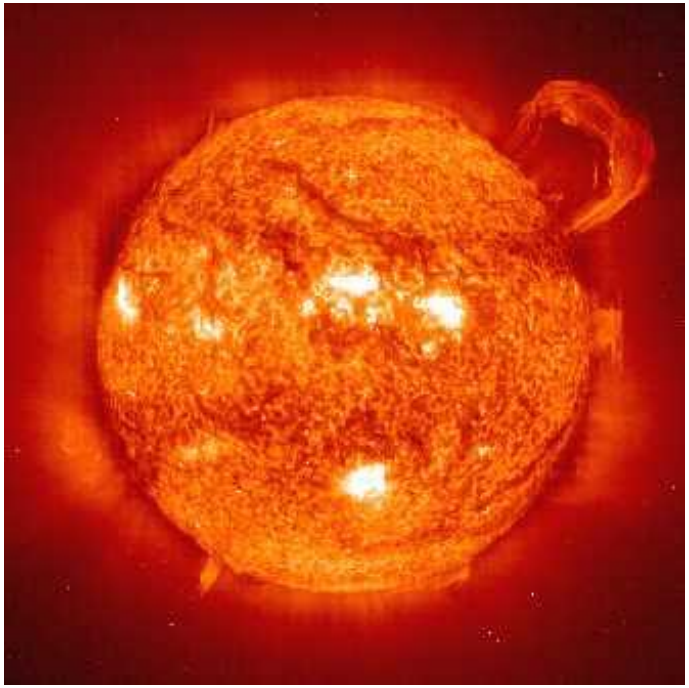
DLR

Weltraumwetter?

Kosmische Strahlung



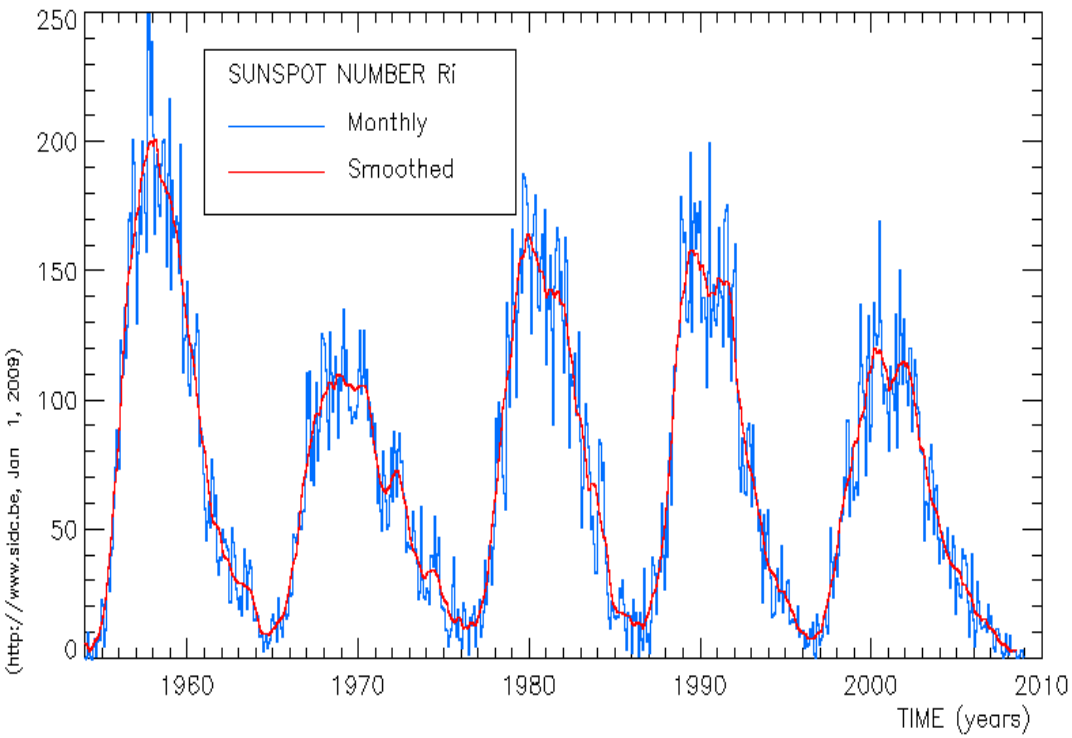
Sonne

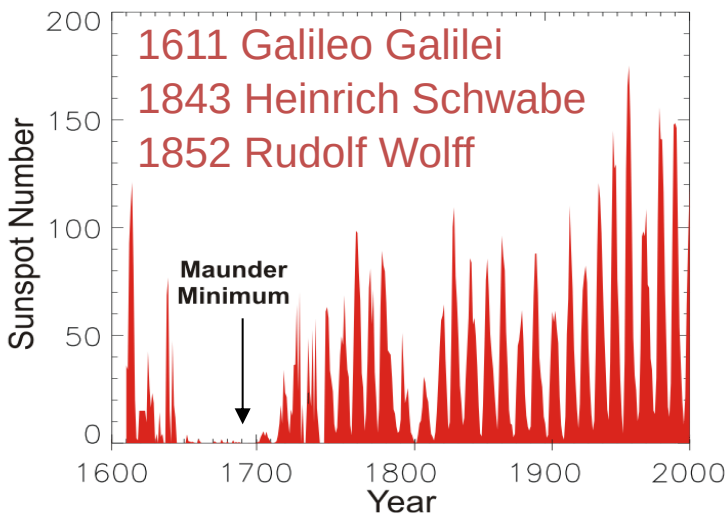


Das Weltraumwetter charakterisiert den Zustand des interplanetaren Feldes, der Magnetosphäre, der Ionosphäre und der Thermosphäre als Folge des Einwirkens der Sonne und anderer kosmischer Quellen

DLR

Die Sonnenaktivität



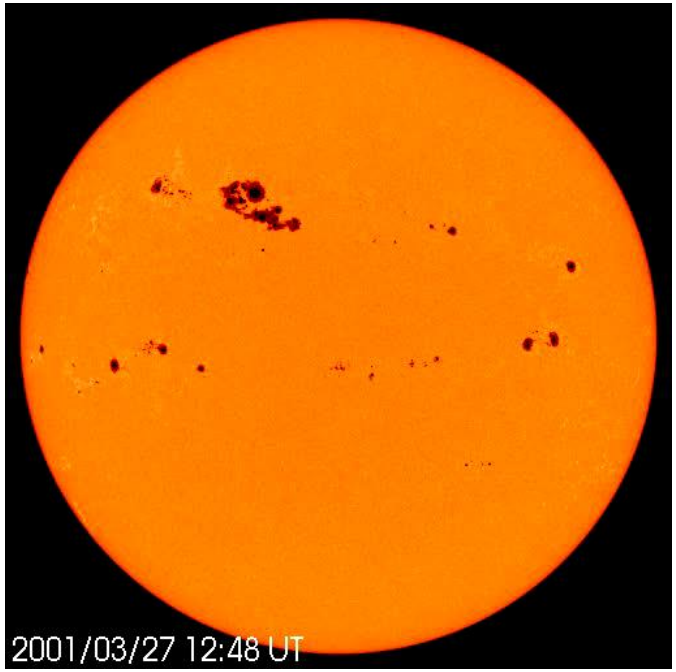


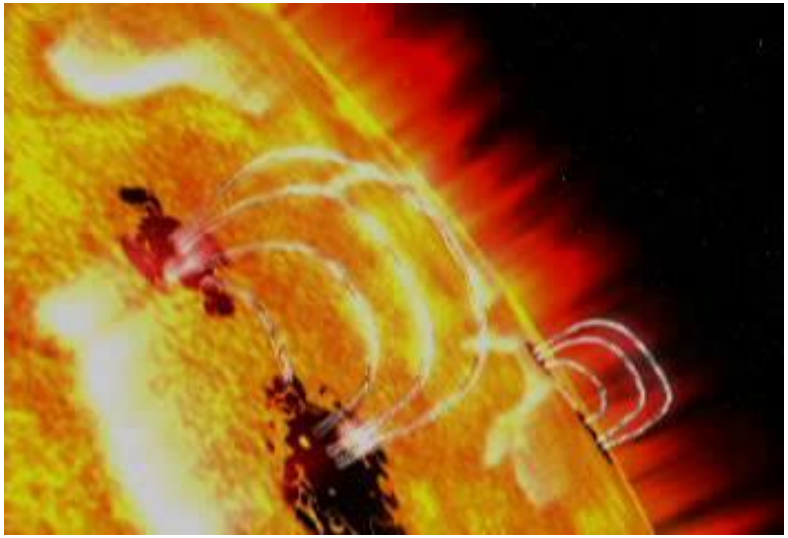
Solarstrahlung	W/m²		Variabilität
Gesamt (sichtbar)	1366.0	1.2	.1%
UV 200 - 300 nm	15.4	0.17	1.0%
0 - 200 nm	0.15	0.15	100.0%
solare Protonen	0.002		
gal. kosmische Strahlung	0.0000007		

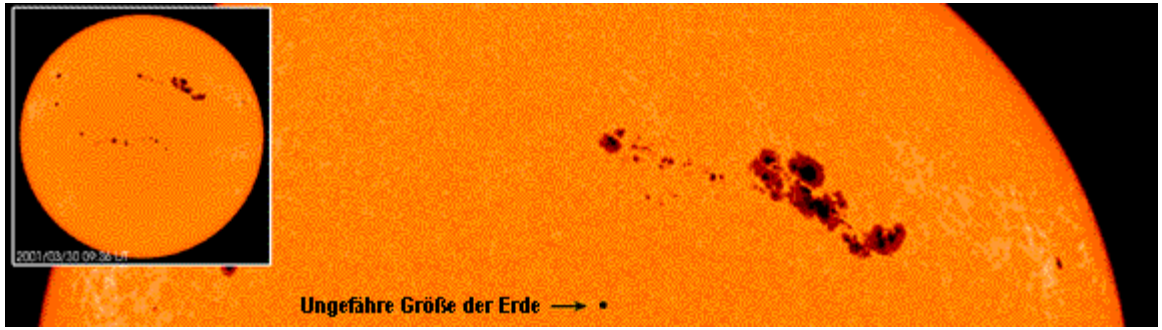
- mittlere Eigenrotation 27 Tagen
- Sonnenfleckenzahl bzw. der Radiofluss auf der Wellenlänge 10,7 cm (F10.7 Index) Maß der solaren Aktivität
- ~11 jähriger Aktivitätszyklus
- Überlagerung durch längerperiodische Zyklen

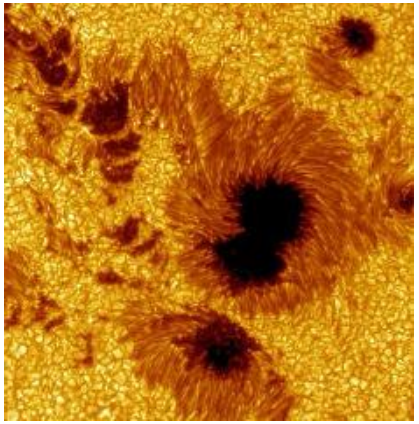
DLR

Eigenschaften der Sonnenflecken

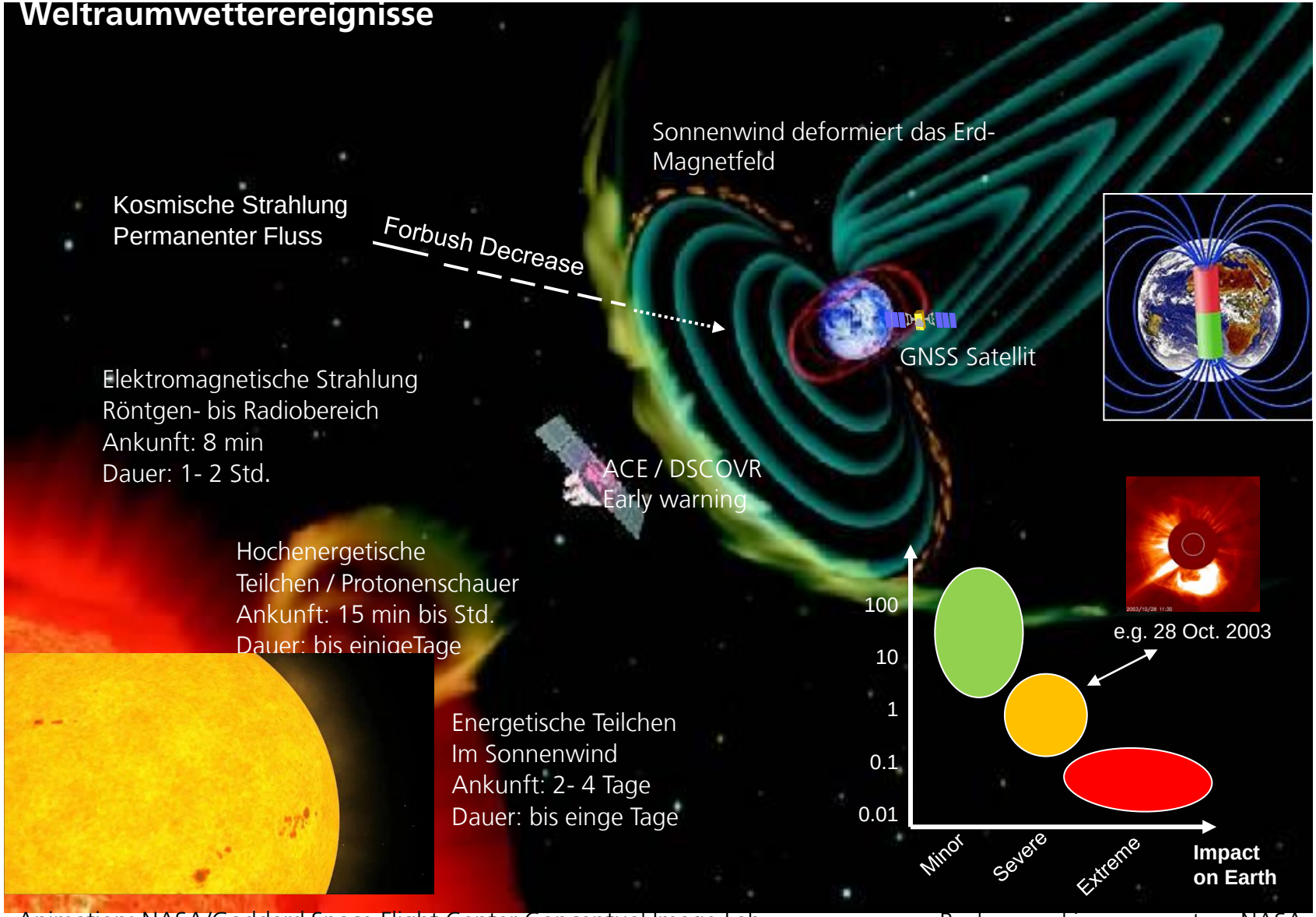








Weltraumwetterereignisse



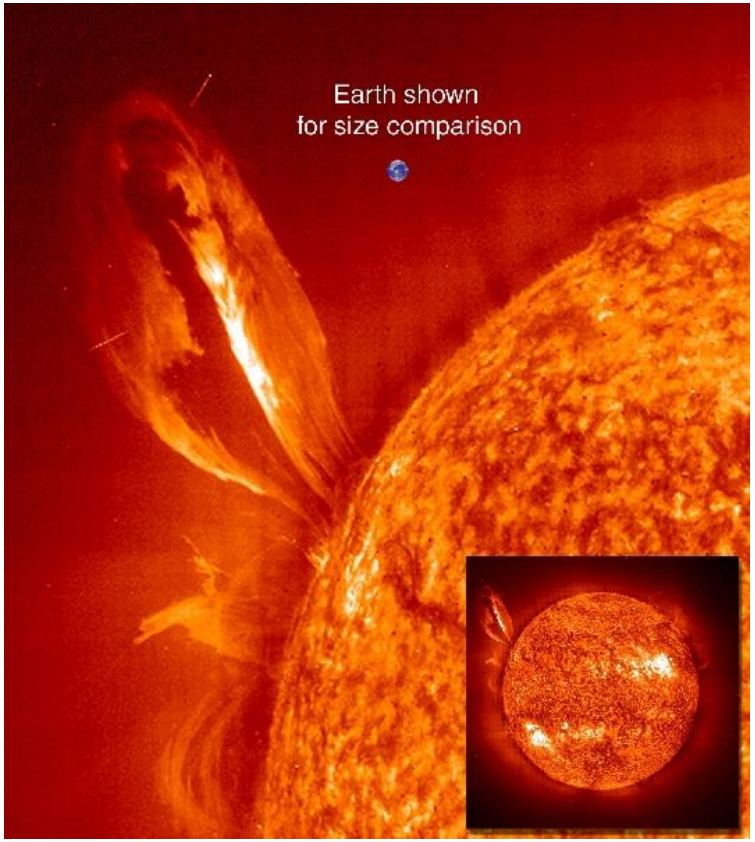
Animation: NASA/Goddard Space Flight Center Conceptual Image Lab

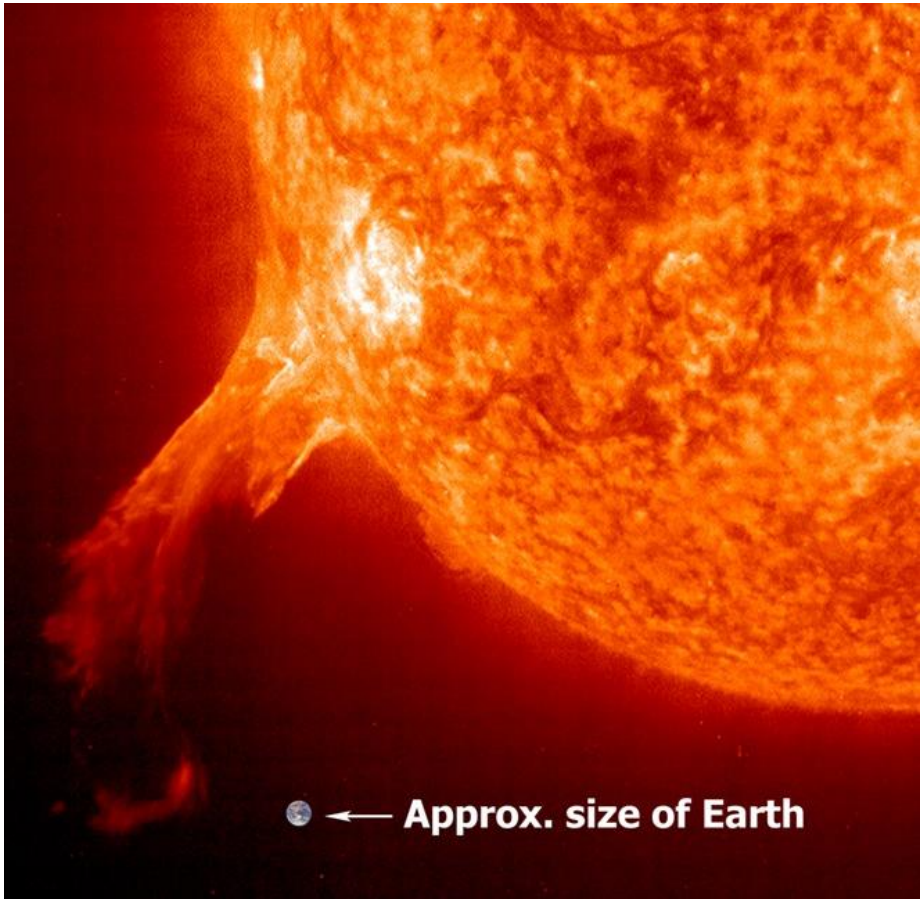
Background image courtesy NASA

DLR

CME's (Koronale Massenauswürfe)

Ursache für hochenergetische und energetische Teilchenschauer
→ Sonnenwind



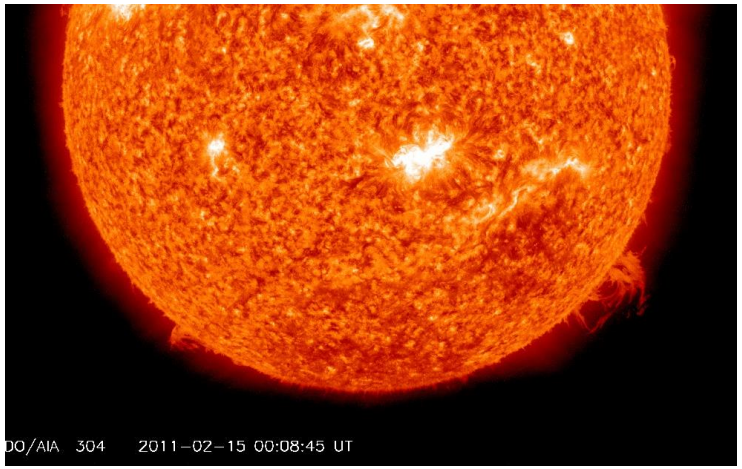


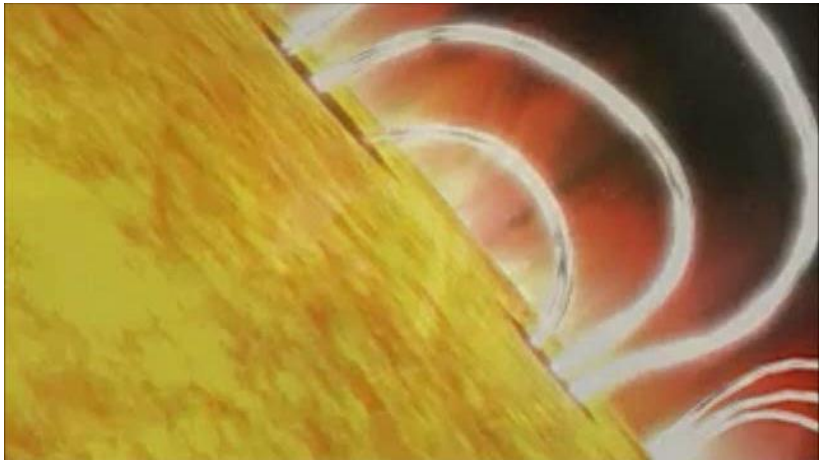
Bilder aufgenommen mit dem
Extreme-UV Imaging Telescope (EIT), SOHO , NASA

DLR

Solar Flares

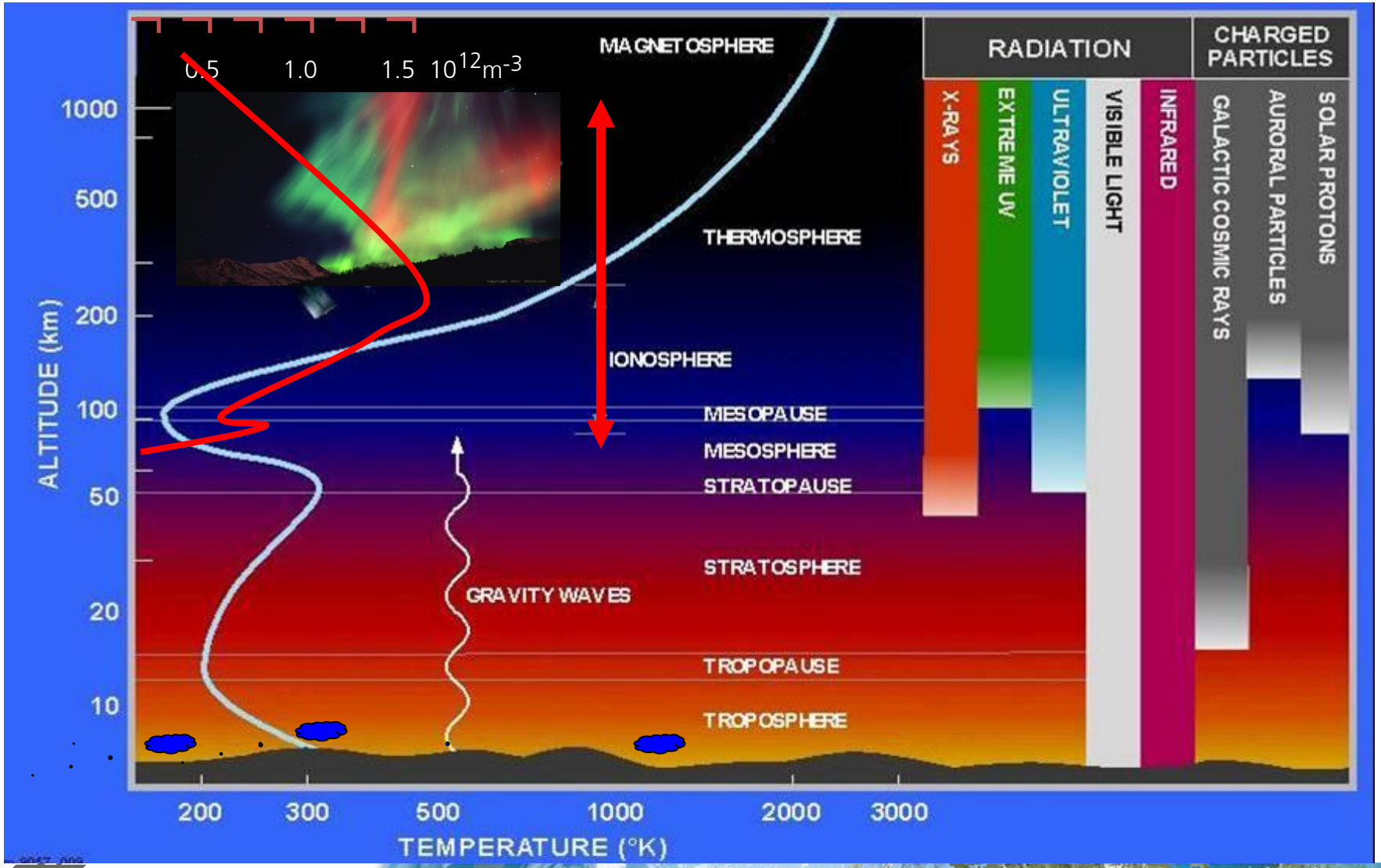
- Plötzlicher Strahlungsausbruch in der Chromosphäre
  (deutsch: Sonneneruption)
- Dauer von 3 Minuten bis einigen Stunden
- Durchschnittl. Dauer: 30 Minuten





- Rekonnexion der Magnetfeldlinien
- Abgabe großer Energiemengen
- Breites Spektrum elektromagn. Strahlung von Radiowellen bis hin zur Röntgenstrahlung

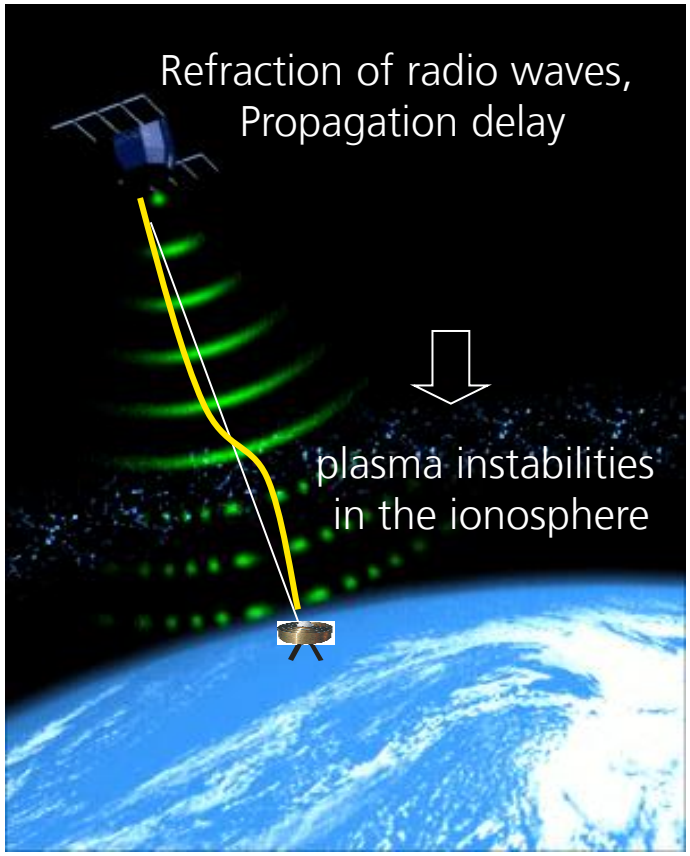
Aufbau der Erdatmosphäre



DLR

Auswirkung von ionosphärischen Effekten

eine Herausforderung für Navigation, Kommunikation und Erdbeobachtung



Das Plasma der Ionosphäre verursacht eine Verzögerung der Funksignale

➔ **Vortäuschung eines zu großen Abstands zwischen Satellit und Messort**

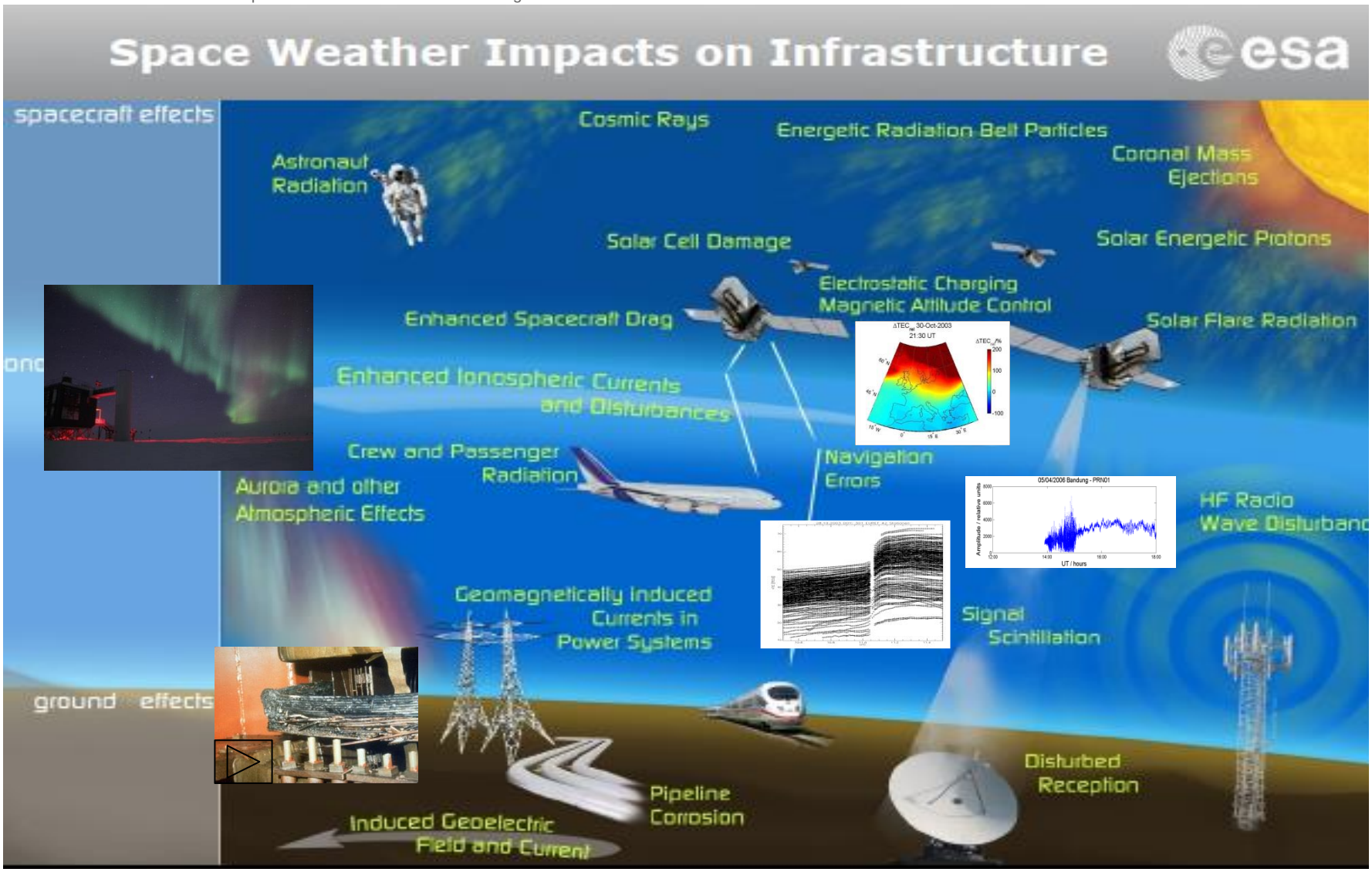
Plasmainstabilitäten verursachen

- Signalstärkefluktuationen
- Defokussierung des Signals

➔ **Verlust des Nutzsignals möglich**

Welchen Einfluss kann das Weltraumwetter auf die technische Infrastruktur der modernen Gesellschaft haben?

DLR



Source: N. Bobrisnky, J.-P. Luntama,, *ESA SSA Programme (Period 2)“*

Wer ist betroffen im Bereich Navigation und Kommunikation?

- Dienste für die Positionierung und Navigation in allen Bereichen des **Transports** und des Verkehrsmanagements.
- Dienste für hochgenaue Positionierung für Nutzer aus den Bereichen der Landes- und Ingenieur**vermessung**, Rohstofferkundung, Kartographie und Fernerkundung
- Dienste für die **präzise Positionierung** von Baumaschinen, Bergbaumaschinen und landwirtschaftlichen Maschinen.
- Monitoring der Position und Aktivitäten im Hochseefischfang und Logistikdienstleister
- T**elekommunikation**sdienste, darunter Dienstleistungen im Bereich Suchen & Retten, Katastrophenmanagement in der Katastrophenhilfe, Personenortung für Hilfebedürftige und für die Strafverfolgung.
- Energieumwandlung, -verteilung und -management in **Energieverbundnetzen**.
- **Zeitsynchronisation** für Finanzdienstleistungen und Handelsabschlüsse.

Weltraumwetter – Risiko und Herausforderung für die hochtechnologisierte Gesellschaft

Weltraumwetterdienst, UK Met Office
Operationeller nationaler Weltraumwetterdienst im Rahmen des meteorologischen Dienstes.

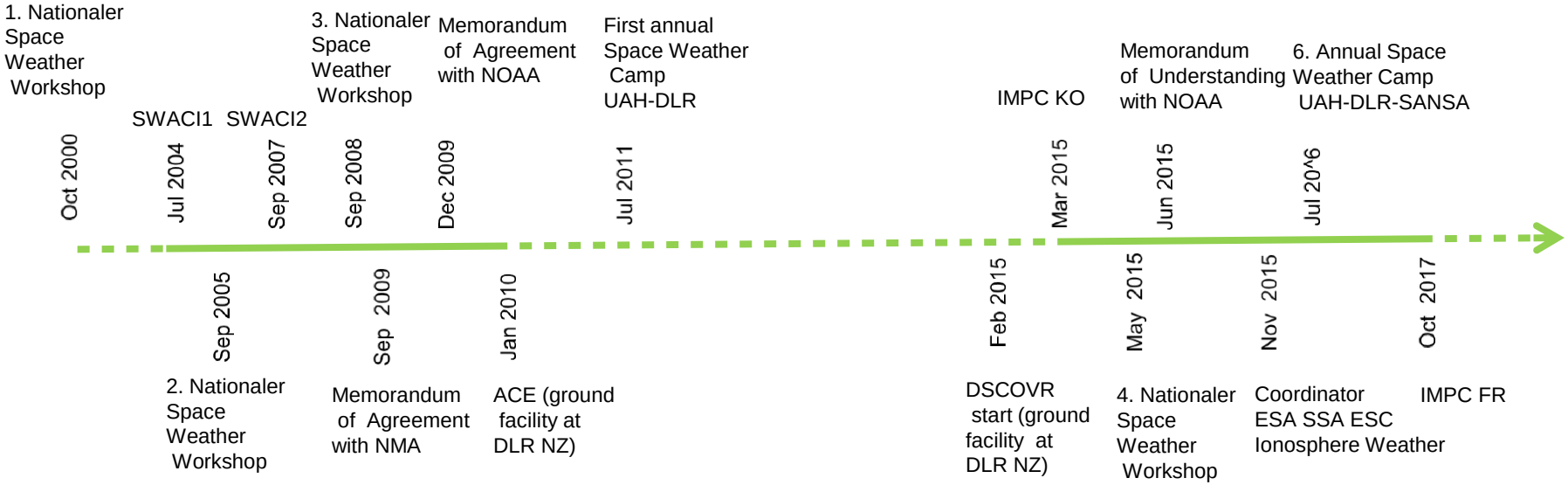
Die US Strategic National Risk Assessment (SNRA)
zählt das Weltraumwetter zu den neun schwersten Naturgefahren mit dem Potential die innere Sicherheit des Landes signifikant zu beeinträchtigen.
Weltraumwetterdienst, NOAA-SWPC
Operationeller nationaler Weltraumwetterdienst im Rahmen des meteorologischen Dienstes.

Weltraumwetterdienst, Deutschland ?
Anbindung von Diensten wie dem IMPC an eine nationale Informationskette im Falle eines Weltraumwetternotfallszenarios damit die relevanten Informationen zeitnah an Entscheidungsträger gelangen.

DLR

Ionosphärenforschung am Standort Neustrelitz

Weltraumwetter am Standort Neustrelitz

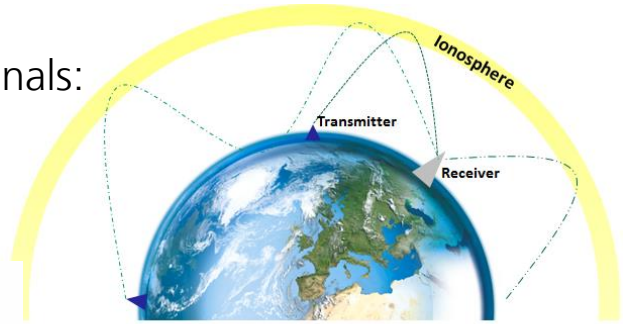


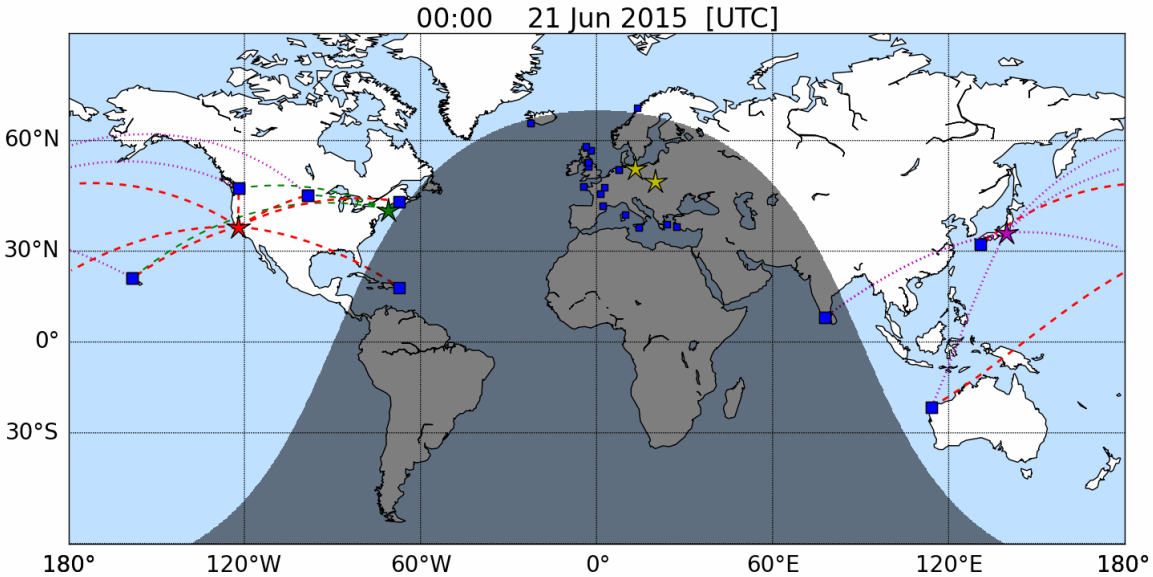
DLR

Hochauflösender ionosphärischer Echtzeitdetektor für störungsrelevante Sonneneruptionen

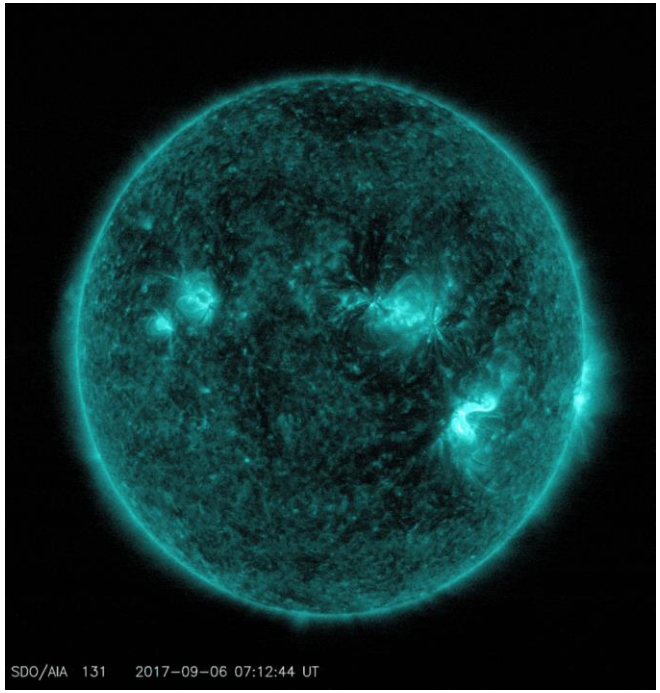
- Installation des GIFDS Netzwerkes
  - Neustrelitz, Germany
  - Krakow, Poland
  - Boston/MA, USA
  - Stanford/California, USA (Februar 2015)
  - Taiwan (February 2016)

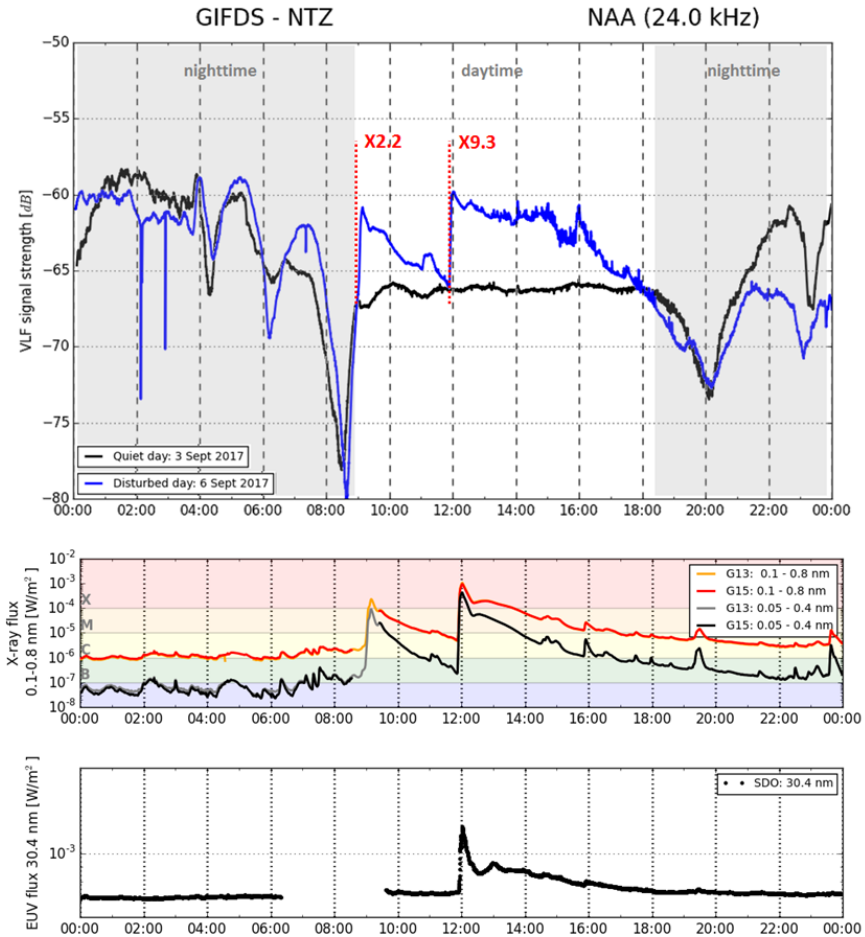
→ 1 Hz data of VLF signals:
  - Amplitude
  - Phase





Beispiel: Sonneneruption vom 06/09/2017 (Solar Flare X9.3)

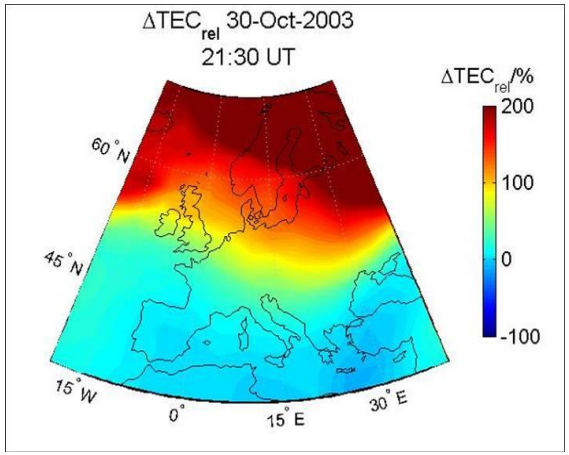




Rang 14 06/09/2017 X 9.3

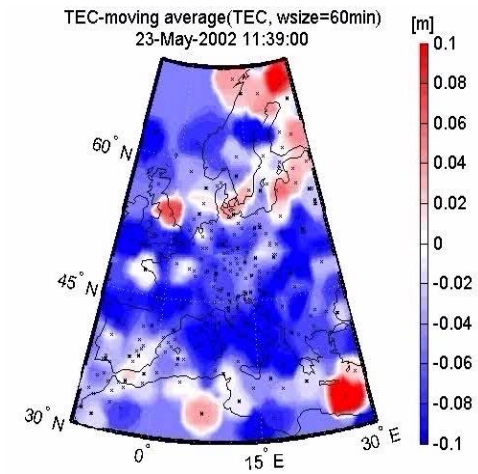
Letzter X-Flare dieser Größenordnung am 05/12/2006 X 9.0

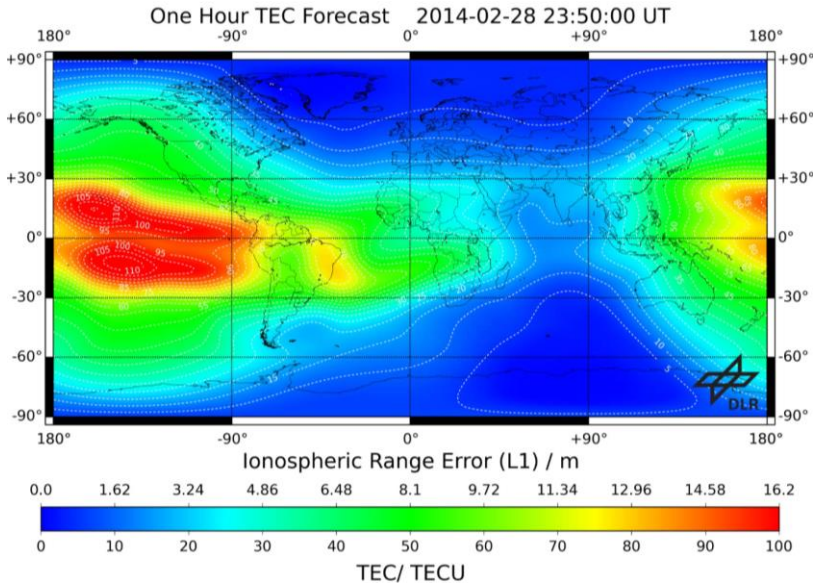
Abhängigkeit der Ionosphäre vom Weltraumwetter



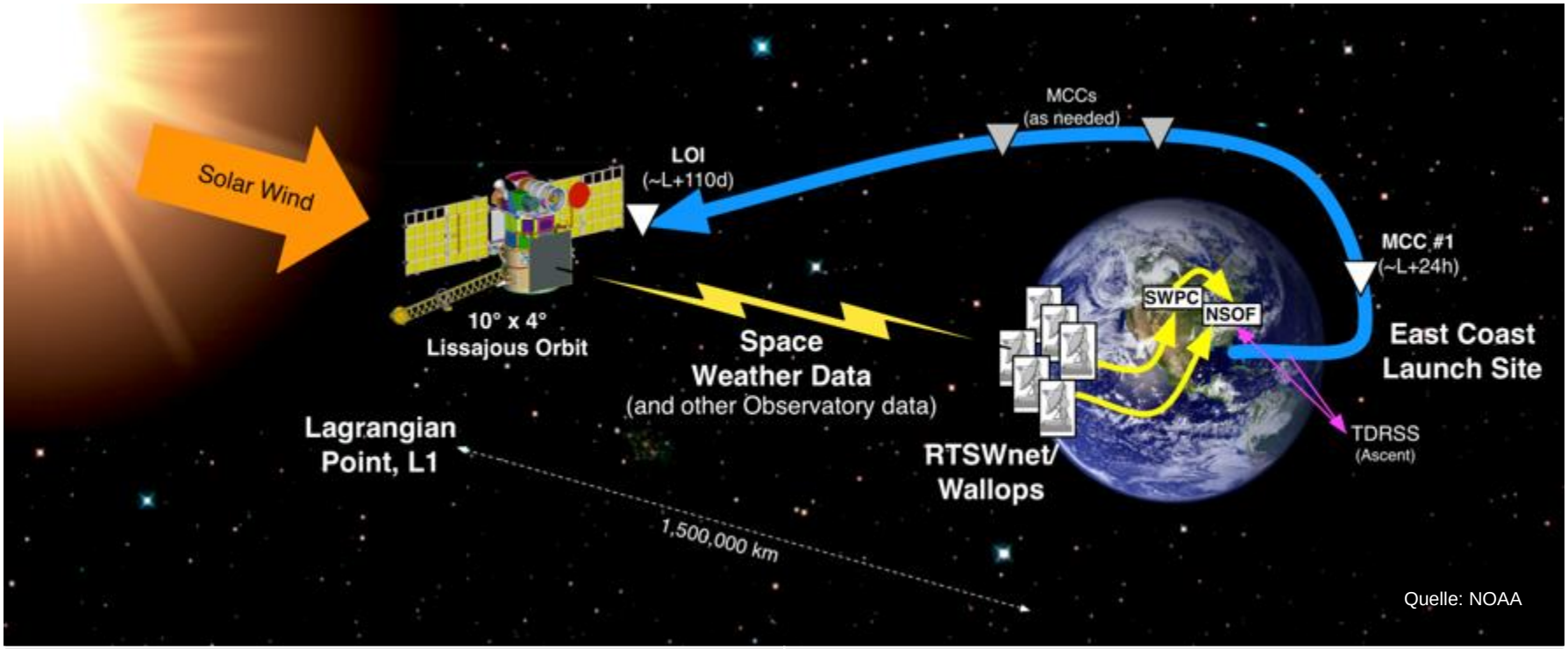
Ionosphärische Störungen durch Einkopplung des Sonnenwindes in die Geosphäre

- Störungen im Gesamtelektronengehalt der Ionosphäre (TEC) bis über 200% während des Halloween –Sturms Ende Oktober 2003
- Störungen werden oft in polaren Breiten erzeugt und breiten sich dann in Richtung Äquator aus





Sonnenforschungssatelliten



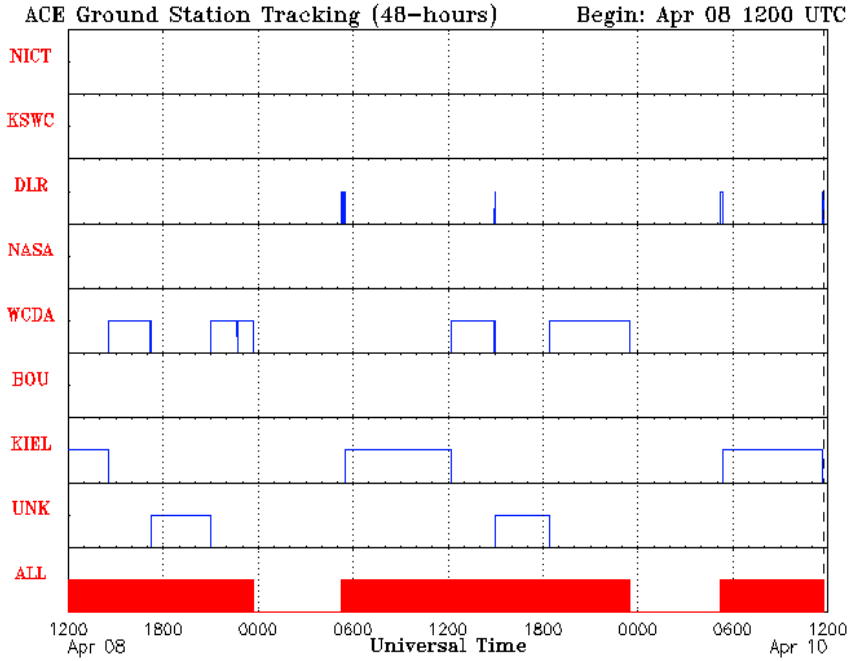
Quelle: NOAA

Advanced Composition Explorer (ACE)	Deep Space Climate Observatory (DSCOVR)
Start 1997 (nominelle Lebensdauer 5 Jahre)	Start 11. Februar 2015

L1 Orbit/ 1.5 Mill. Kilometer
RT SOLAR WIND DATA
seit 28.4.2015 paralleler Empfang ACE-DSCOVR
space weather station : Warnungen vor elektromagnetischen Stürmen ~30-60 min. vor Eintreffen

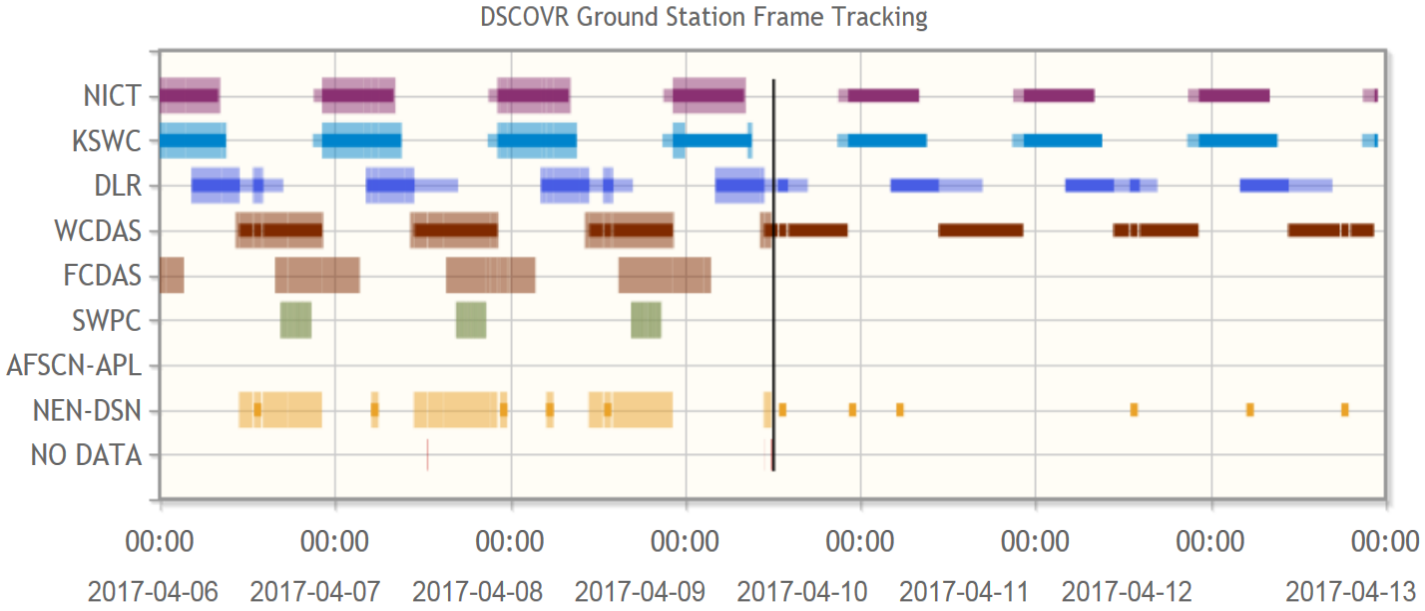
DLR

Stations Netzwerk



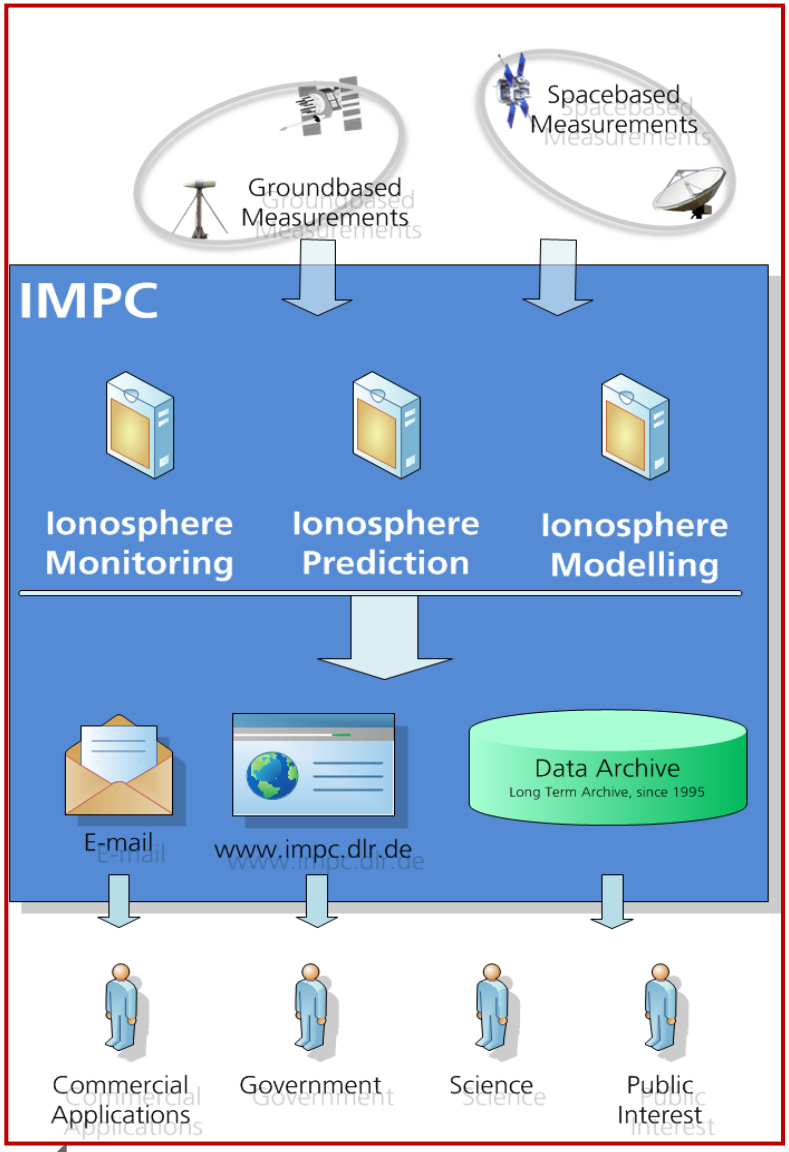
Updated: 2017 Apr 10 11:45 UTC

NICT: Nat. Institute of Information and Communications Technology , Tokyo
KSWC: Korean Space Weather Center in Jeju
DLR: German Aerospace Center in Neustrelitz
WCDAS: NOAA's Wallops Command and Data Acquisition Station
FCDAS: NOAA's Fairbanks Command and Data Acquisition
SWPC: NOAA's Space Weather Prediction Center in Boulder,
AFSCN-APL: United States Air Force Satellite Control Network
NEN-DSN: NASA's Near Earth Network



Quelle: http://www.swpc.noaa.gov/products/ace-ground-station-tracking-plots;

Ionospheric Monitoring and Prediction Center

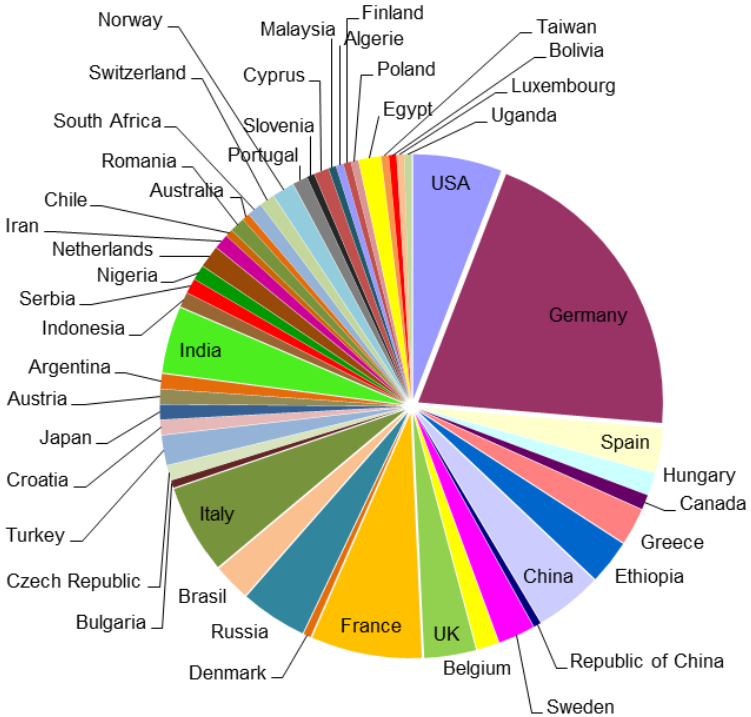


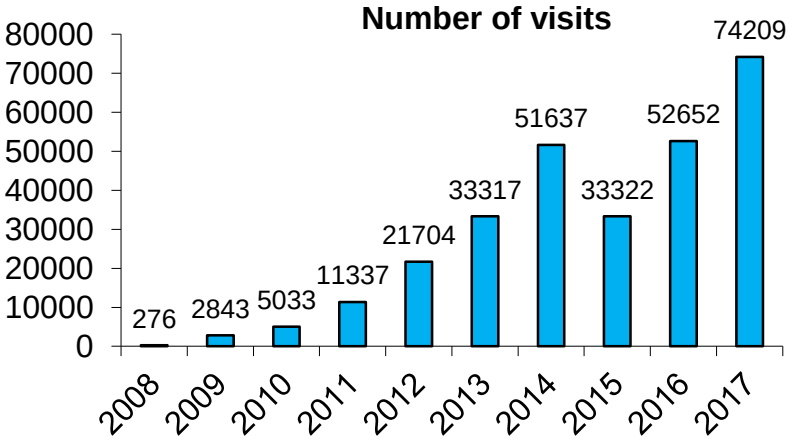
- Das "Ionosphere Monitoring and Prediction Center "(IMPC) von DLR liefert Echtzeitinformationen und Datenservices über den aktuellen Zustand, sowie Vorhersage und Warnungen zur Ionosphäre.

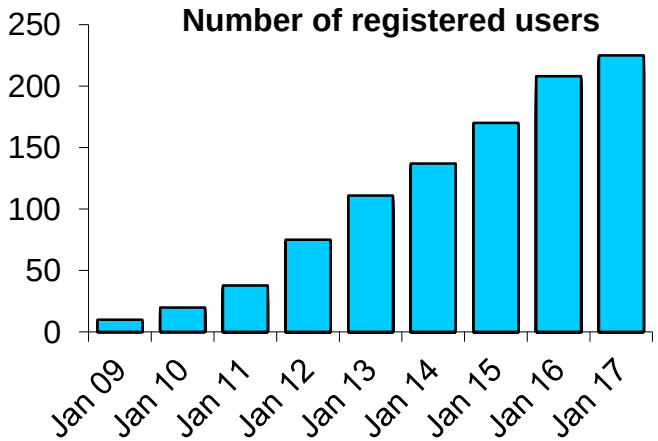
- IMPC stellt einen Service bereit für:
  - Wissenschaft
  - Regierungsentscheidungen
  - Kommerzielle Anwendungen
  - Öffentliches Interesse

→ **Kontinuierlicher Echtzeitservice**

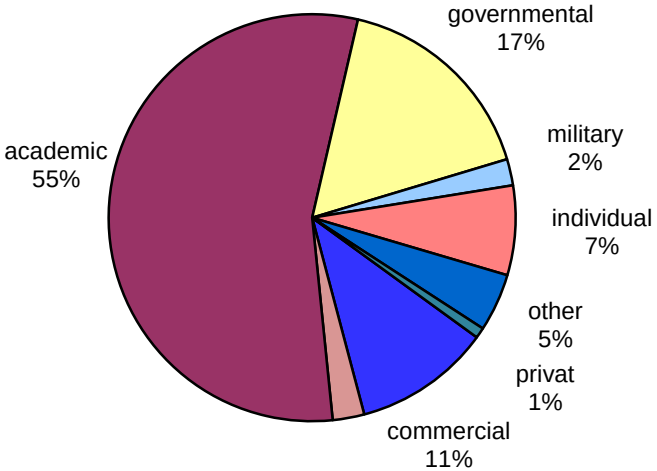
Ionospheric Monitoring and Prediction Center





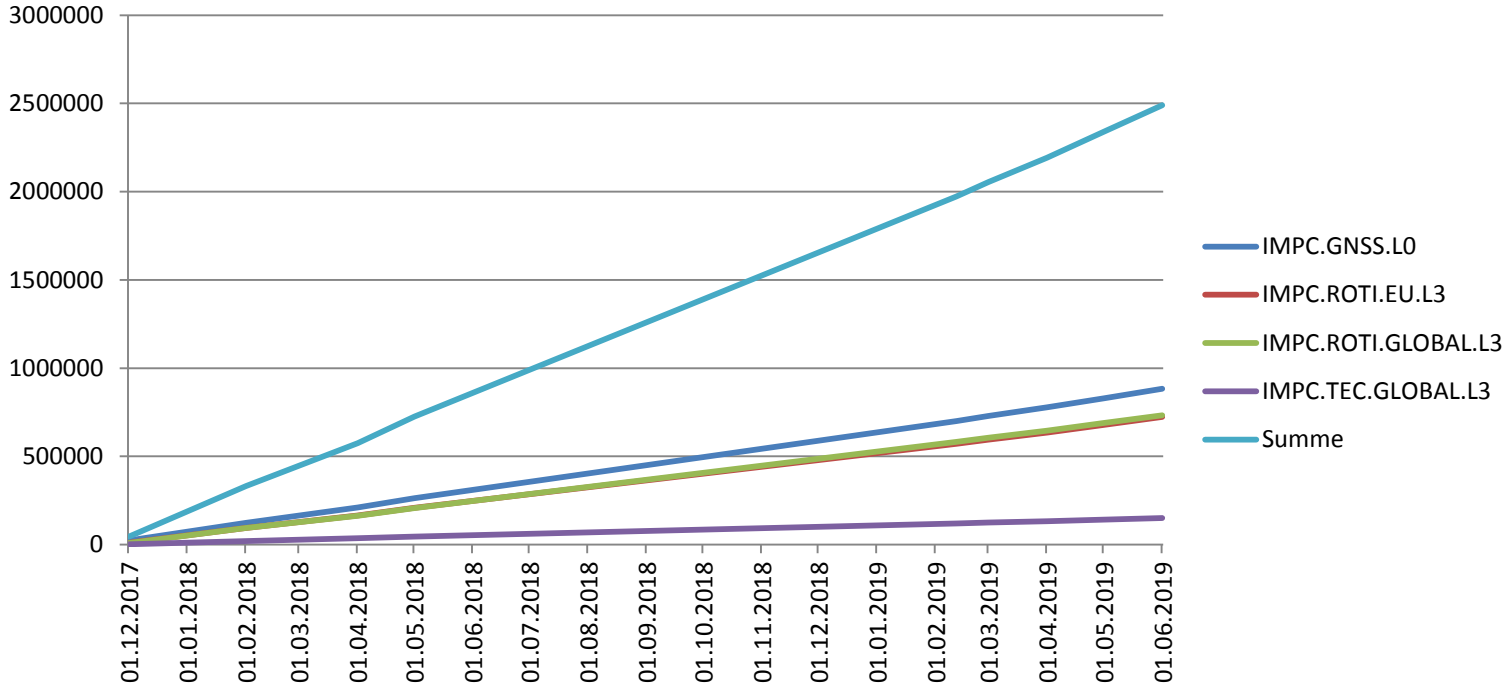


Type of organisation of registered users



Status: December 2017

Ionospheric Monitoring and Prediction Center



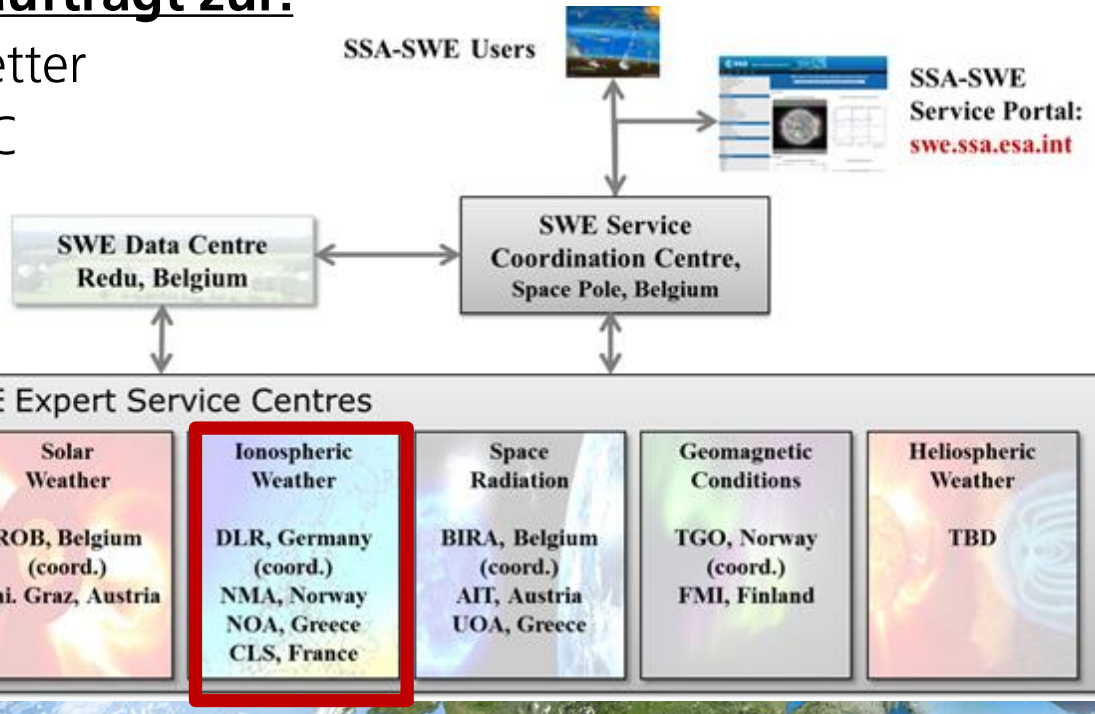
Status: 6/2019

Expert Service Center „Ionospheric Weather“

Als Teil des SSA Space Weather Netzwerkes, wird das Expert Service Center Ionospheric Weather (ESC-IW) unter der Leitung des DLR Neustrelitz, die europäische Expertise für das Weltraumwetter im Bereich der oberen Atmosphäre , welche die Ionosphäre beinhaltet, gebündelt. Der Kenntnis des aktuellen Ionosphärenzustandes ist unter anderem bedeutend für die exakte Navigation und störungsfreie Kommuníkation.

<u>Das DLR wird durch die ESA beauftragt zur:</u>

- Koordination ESC Ionosphärenwetter
- Planung und Entwicklung des ESC
- Datenlieferung und Service



DLR

PECASUS - Pan-European Consortium for Aviation Space weather User Services

ICAO plant Piloten-Briefing auf Weltraumwetterinformationen zu erweitern

Ausschreibung für ~3 globale Zentren

- 24/7 Beobachtung der Sonnenaktivität und Auswirkungen auf die Erde
- Aufbau geeigneter ICAO-Beratungsstellen für den Luftfahrtsektor
- hohe Betriebssicherheit.
- Schulung für Luftfahrtnutzer.
- Betrieb einer umfassenden und robusten IT-Infrastruktur

WMO Audit erfolgreich

Zusammenfassung

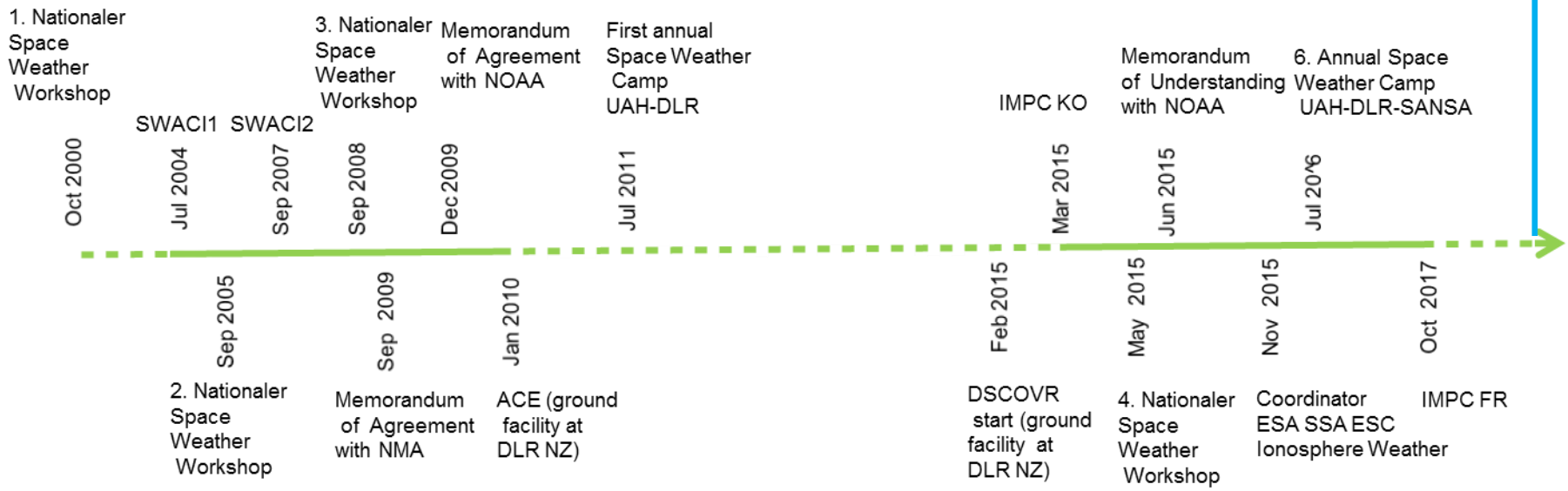
- Das Weltraumwetter wird hauptsächlich durch die Sonne verursacht und wirkt über die Kette Magnetosphäre, Thermosphäre und Ionosphärein auf die Erdatmosphäre ein.
- Physik und Effekte des Weltraumwetters zeichnen sich durch hohe Dynamik aus.
- Von der systematischen Erforschung der komplexen Zusammenhänge des Weltraumwetters erwarten wir eine tieferes Verständnis der Beeinflussung unserer technologischen Umwelt und des menschlichen Lebens durch die Sonne und andere kosmische Quellen.
- Monitoring, Modellierung und Vorhersage des Weltraumwetters sind die Voraussetzungen zur Reduzierung potenzieller Gefährdungen der Funktionalität technischer Systeme oder des menschlichen Lebens.

Happy End?

Bundesrat Drucksache 331/18 10.08.2018

Der Aufbau eines neuen Instituts in Neustrelitz ab 2019 stärkt die Kompetenzen des DLR zur Beobachtung und Vorhersage des Weltraumwetters.

Weltraumwetter am Standort Neustrelitz



Vielen Dank !

Kontakt:

Klaus-Dieter Missling
EOC
klaus-dieter.missling@dlr.de
+49 3981 480 114

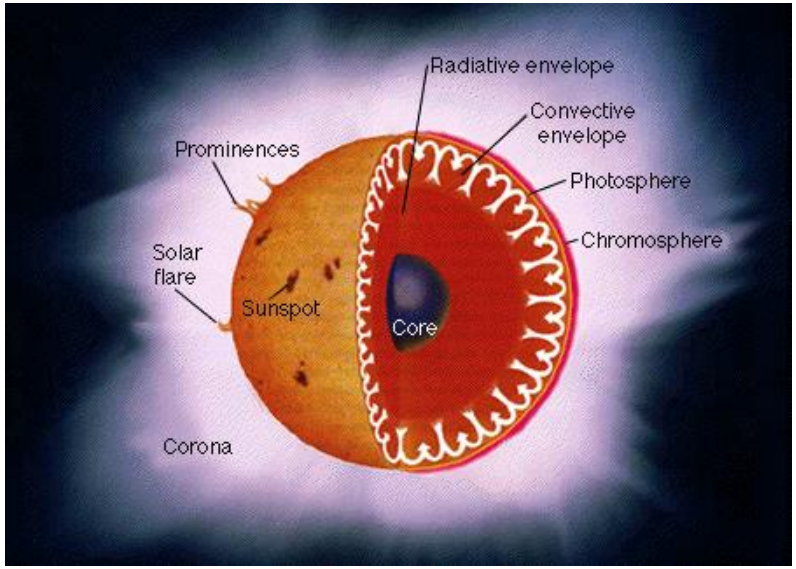
Kosmische Strahlung

1912
Entdeckung der **kosmischen Strahlung** von **Victor F. Hess** mit einer Ballon-getragenen Ionisationskammer

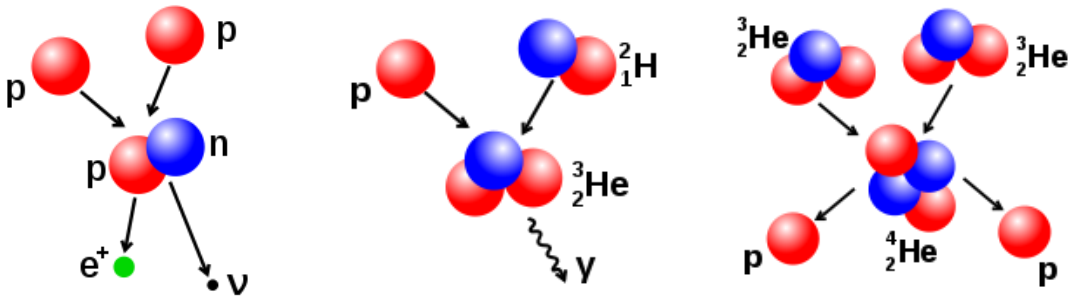
1932 Entdeckung des **Positrons** und nachfolgend weiterer Teilchen wie μ- und π-Mesonen

ab 1975
Routinemessung der kosmischen Strahlung auf **GOES**-Satelliten

Die Sonne



- **Größe: ø 1,39x10^6 km**
- **Masse: 1,989x10^{30} kg**
- **Entfernung: 149,6x10^6 km (1 AE)**
- **Mittlere Dichte: 1,41 g/cm³ (Erde 5,52 g/cm³)**
- **73,5% H, 25%He**
  → Restliche 1,5%: O,C,…



- **Energiekonversion(E=mc²)**
  - Kernenergie
  - Thermische Energie
  - Strahlungsenergie **("Licht")**
  - Energie des Sonnenwindes

Bilanz der Proton-Proton-Kette: 4p → 1 He + e^+ + 2 Neutrinos + 26 MeV

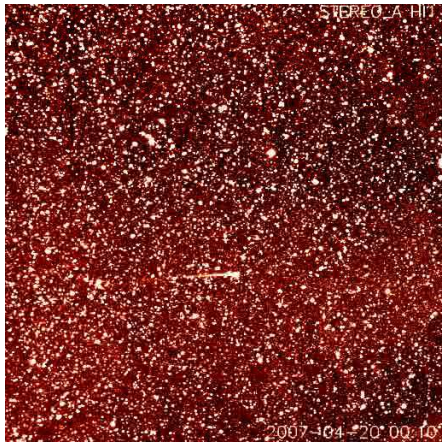
DLR

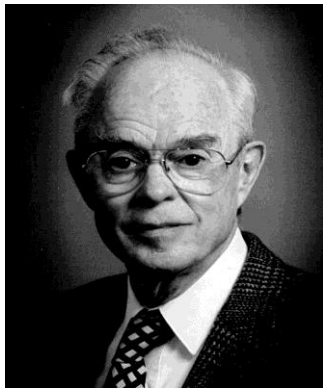
Der Sonnenwind - Historisches

1951
L. Biermann: Annahme des Sonnenwindes aus Beobachtungen an Kometenschweifen
1958
E. Parker: Theorie des Sonnenwindes.
1959
K. Gringauz: experimentelle Hinweise auf einen Sonnenwind aus Messungen auf Lunik 2 und 3

1962
Nachweis des Sonnenwindes mit der Raumsonde **MARINER 2**

1970/73
OSO 7 und Skylab geben Hinweise auf **"koronale Massenauswürfe"**
1995.
Start von **SOHO** (Solar and Heliospheric Observatory) von ESA und NASA
1997
Start von **ACE**

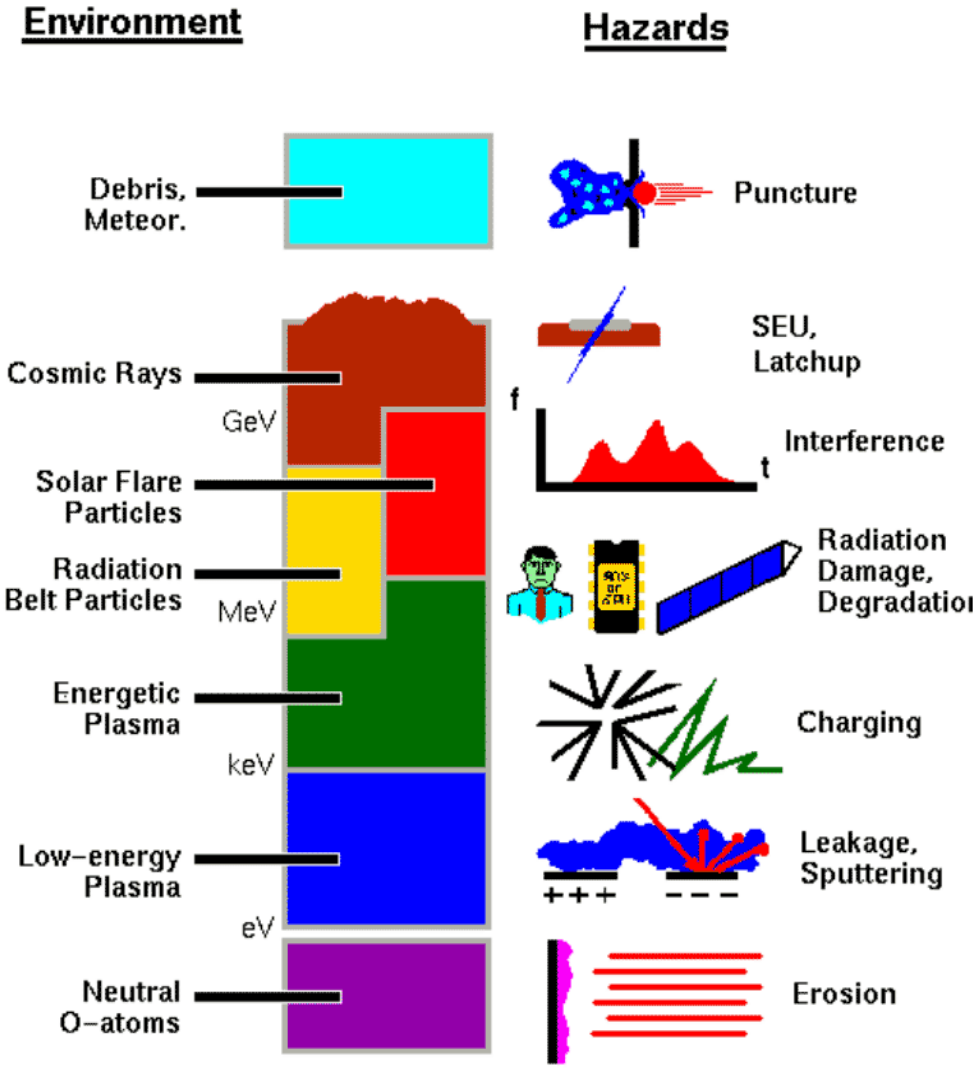




E. Parker

Störung der Funktionalität von Satelliten

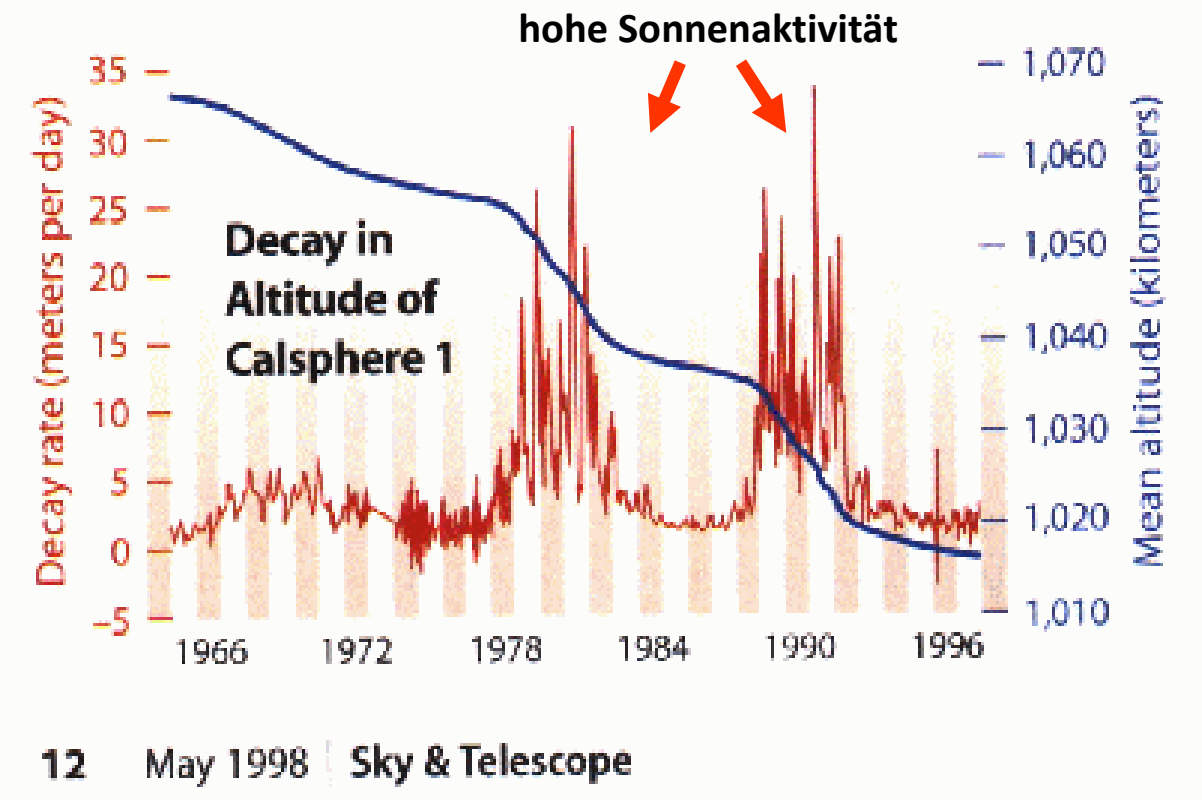
- Effekte sind abhängig von der Energie der geladenen Teilchen (Elektronen, Protonen)
- Totalausfälle von Satelliten möglich
  (z.B. Equator-S, Anik 1&2, Telstar 401)
- Gegenmaßnahmen nur begrenzt möglich:
  (z.B. Sleeping mode, Satellitendrehung)



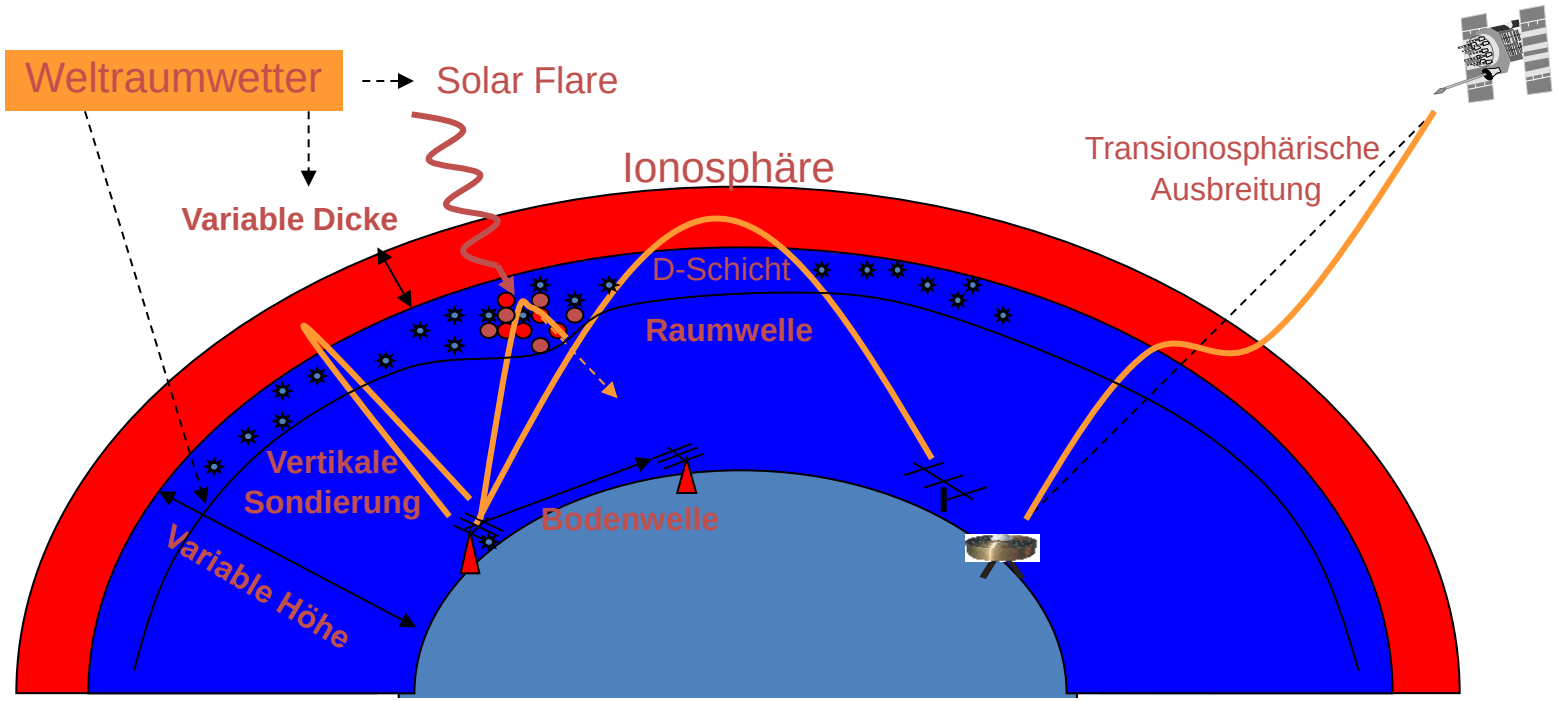
DLR

Bahnänderungen von Satelliten

- Aufheizung der Thermosphäre durch die solare Strahlung (EUV) oder im Zusammenhang mit erhöhter geomagnetischer Aktivität (Ap) führt zur verstärkten Abbremsung von Satelliten und Weltraummüll mit resultierenden Bahnänderungen
- Gegenmaßnahmen: Bahnkorrektur, Ausweichmanöver
- Skylab-Absturz 1979 infolge rapiden Anstiegs der sonnenaktivität



Radiowellen in der Ionosphäre



- Die Ionosphäre ist ein, sich durch die Einflüsse des Weltraumwetters ständig veränderndes Ausbreitungsmedium.
- Radiowellen erfahren je nach Frequenz und ionosphärischen Bedingungen mannigfaltige Veränderungen in der Amplitude, Phase, Polarisation, Richtung.
- Die Ausbreitungseigenschaften werden vom frequenzabhängigen Brechungsindex N beschrieben.

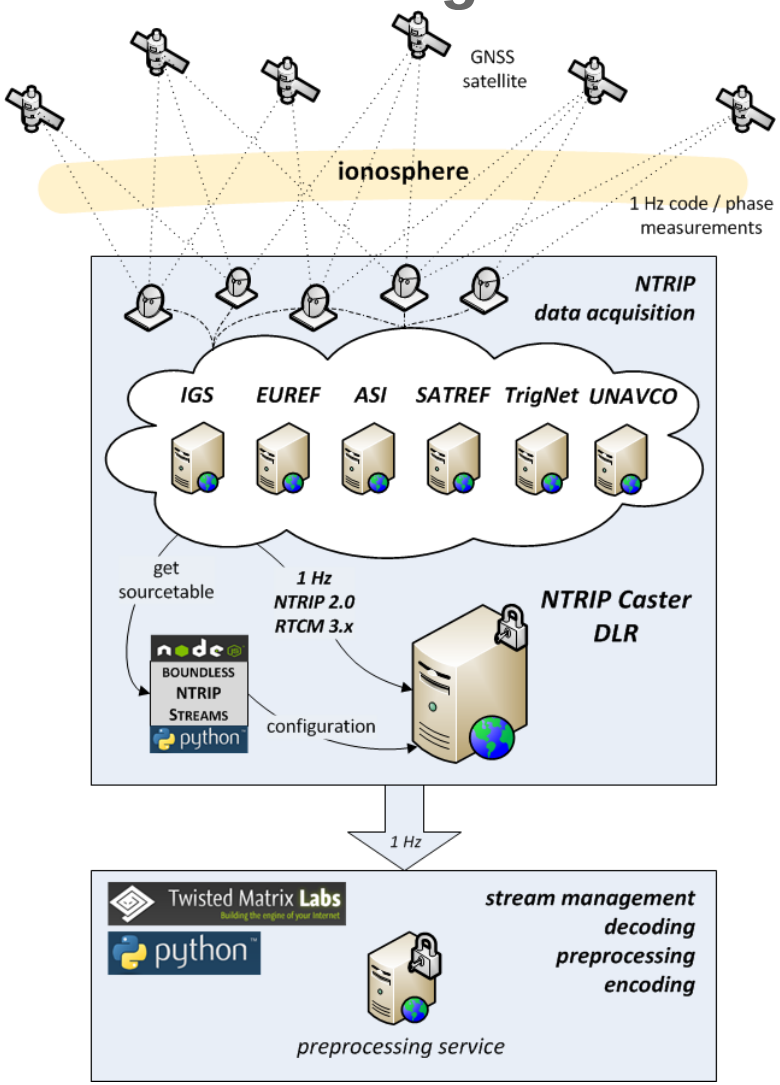
DLR

Induktion elektrischer Spannungen auf terrestrischen Leitungssystemen

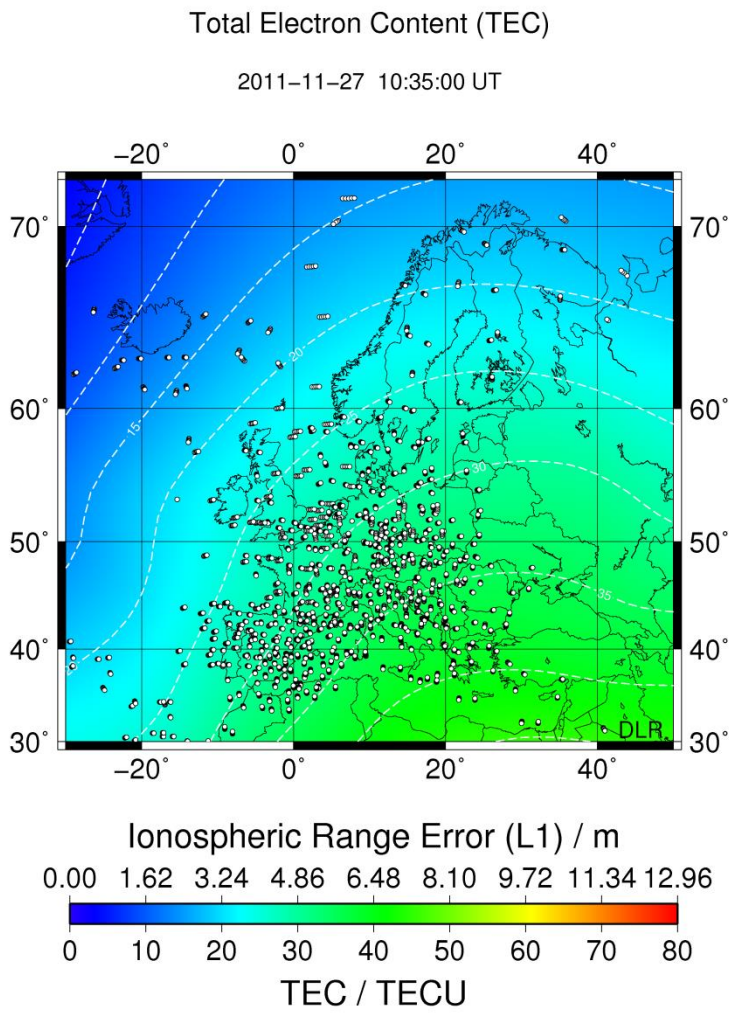
13. März 1989
Hydro Quebec: 400nT/min – 9 Std Elektrizitätausfall für 6 Mill. Menschen
in Minnesota wurden 865 nT/min gemessen !

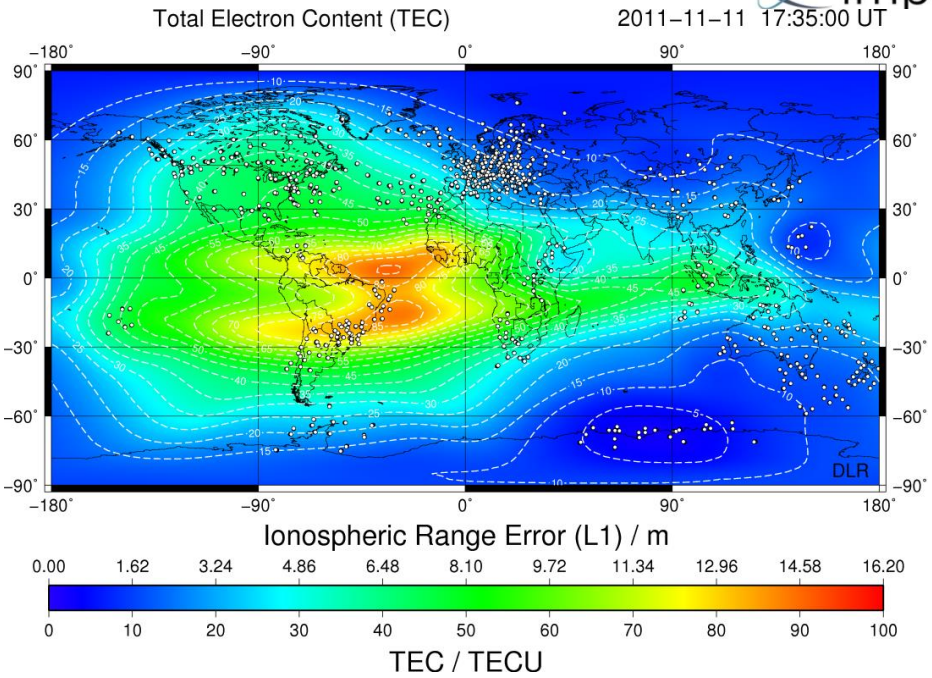
Datenfluss zur IMPC GNSS Echtzeitbeobachtung

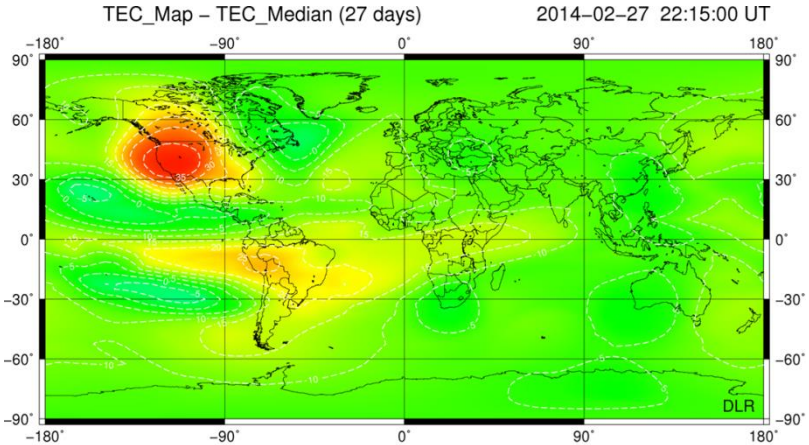
- DLRs NTRIP Caster ist der zentrale Knoten um 1Hz GNSS Echtzeitbeobachtungsdaten von verschiedenen Netzwerken anzuziehen.
- Die NTRIP Caster Software wird vom BKG bereitgestellt und am DLR Neustrelitz betrieben.
- Die Software zur Kontolle, ggf. Korrektur und Weiterverarbeitung der Ströme ist am DLR entstanden.
- Die Softwarealgorithmen zur Kontrolle, Weiterverarbeitung, Speicherung, Analyse, Visualisierung, Interpretation und Verbreitung wurden/werden am DLR entwickelt und betrieben.



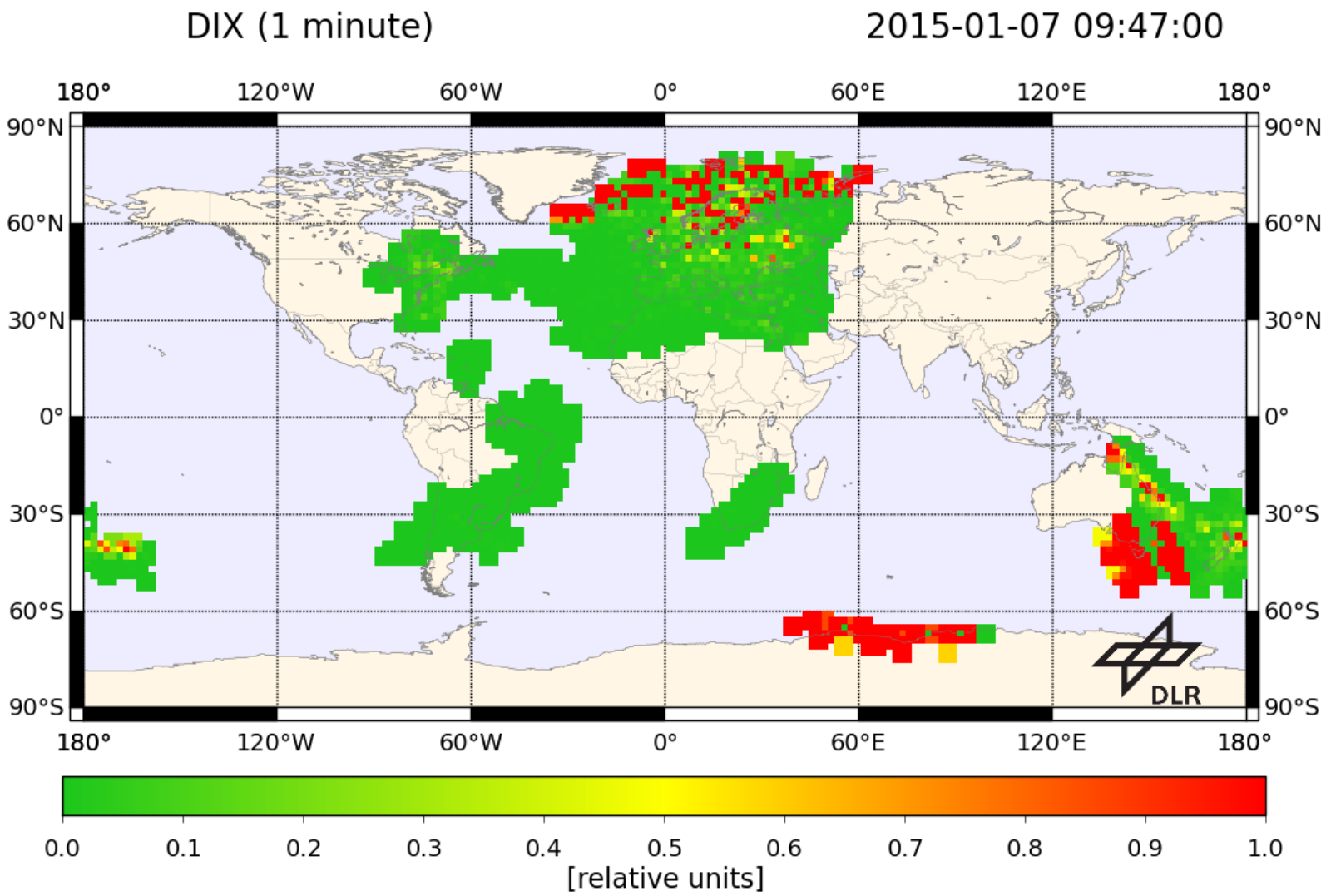
Echtzeitbeobachtung





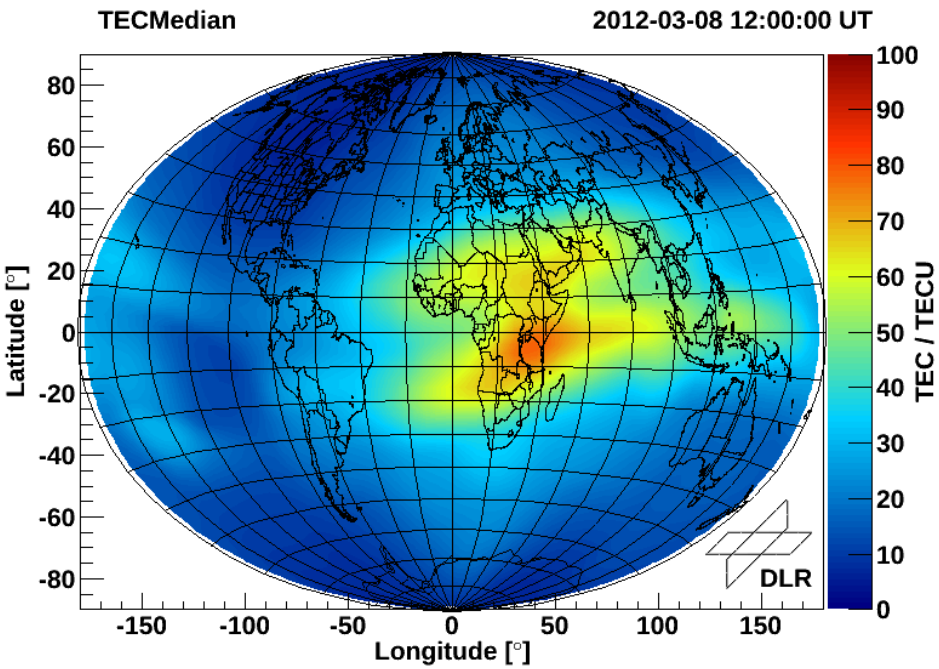


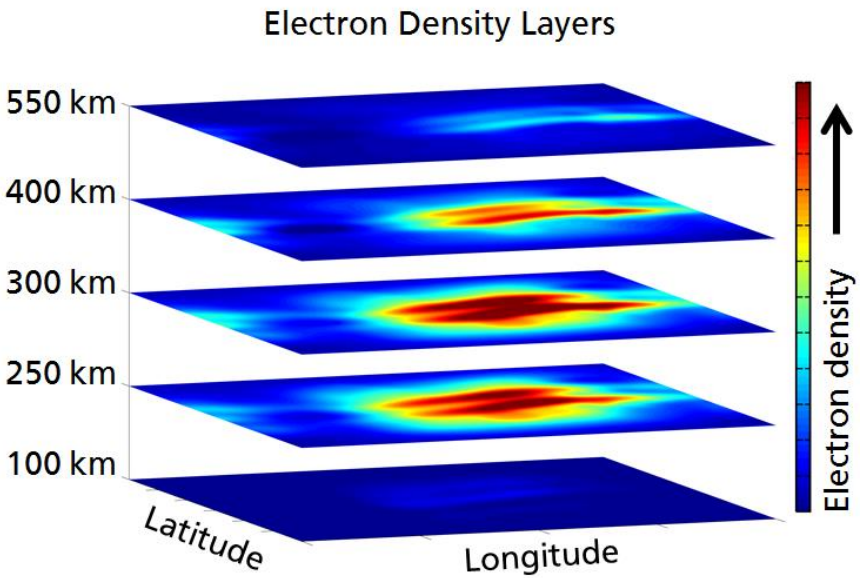
Störungsindex



Monitoring des ionosphärischen Zustandes

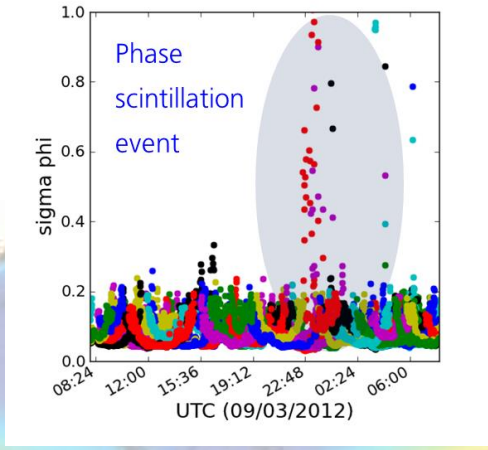
Eine vielzahl GNSS basierten Messungen auf der Erde und im Weltraum ermöglichen es die Elektrondichte und die Struktur des Ionosphären-Plasmasphärensystem permanent zu beobachten



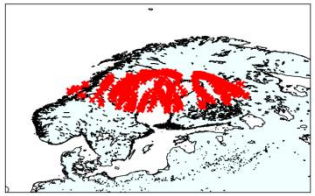


Echtzeitbeobachtung der Ionosphäre ist bedeutend für die Risikoeinschätzung und Vorbeugung von ionosphärischen Gefahren durch Weltraumwetter-ereignisse für die technische Infrastruktur unserer Gesellschaft

Echtzeitbeobachtung



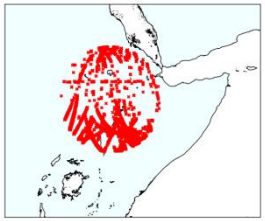
Kiruna / Schweden



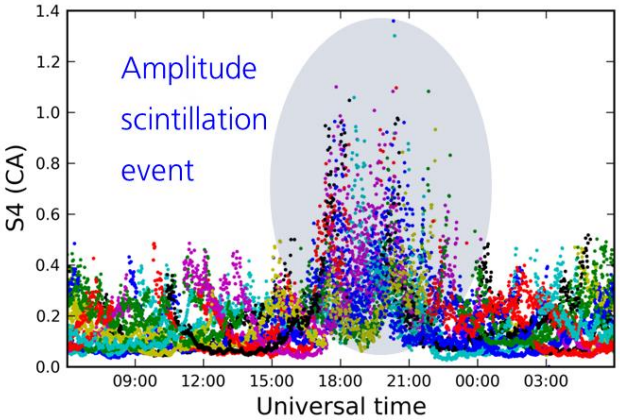
Frequent

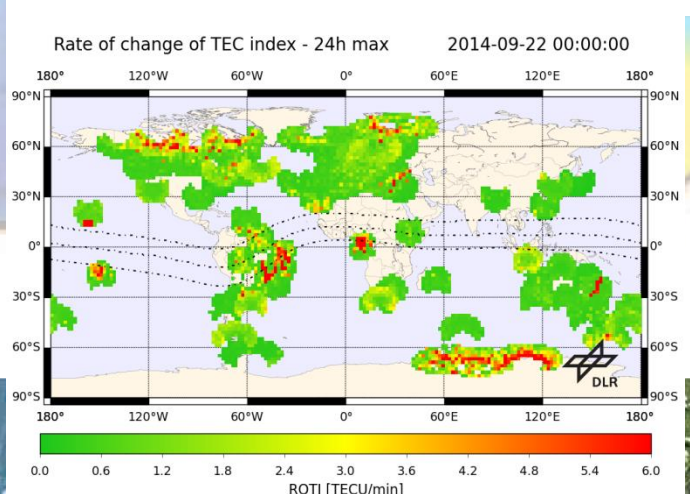
Ursprung: Geomagnetische Stürme
Verusacht: Phasenszintillation

Ursprung: Flussumkehrung des äquatorialen Plasmas in den Abendstunden (Dämmerung) führt zu Rayleigh-Taylor Instabilitäten (RTI) und Plasmablasen
Verursacht: Amplitude und Phasenszintill.



Bahir Dar/ Ethiopia

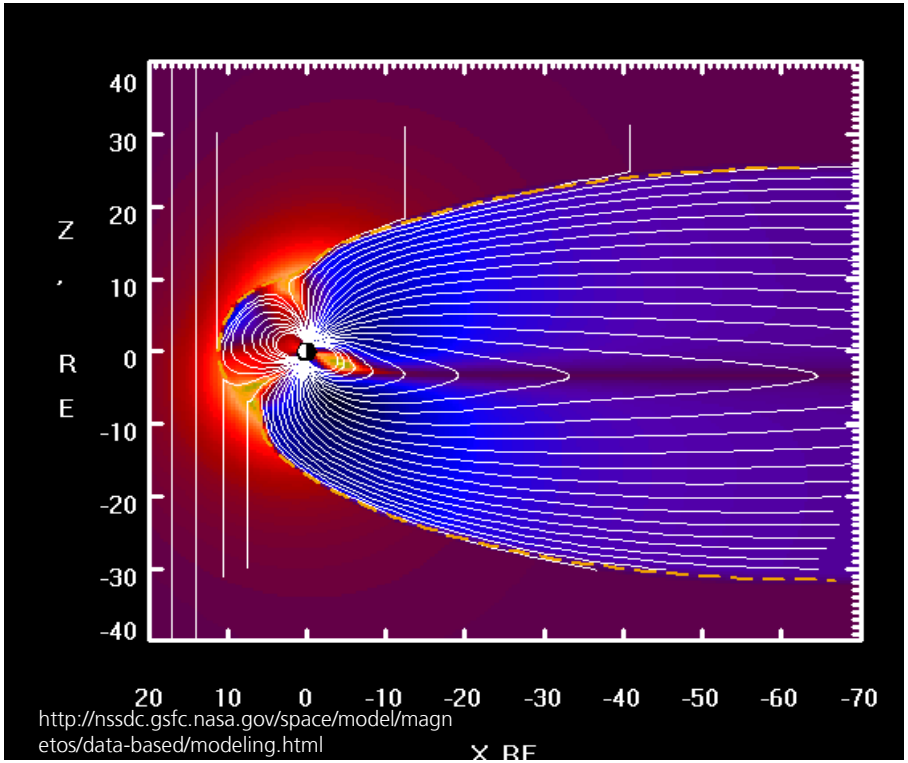




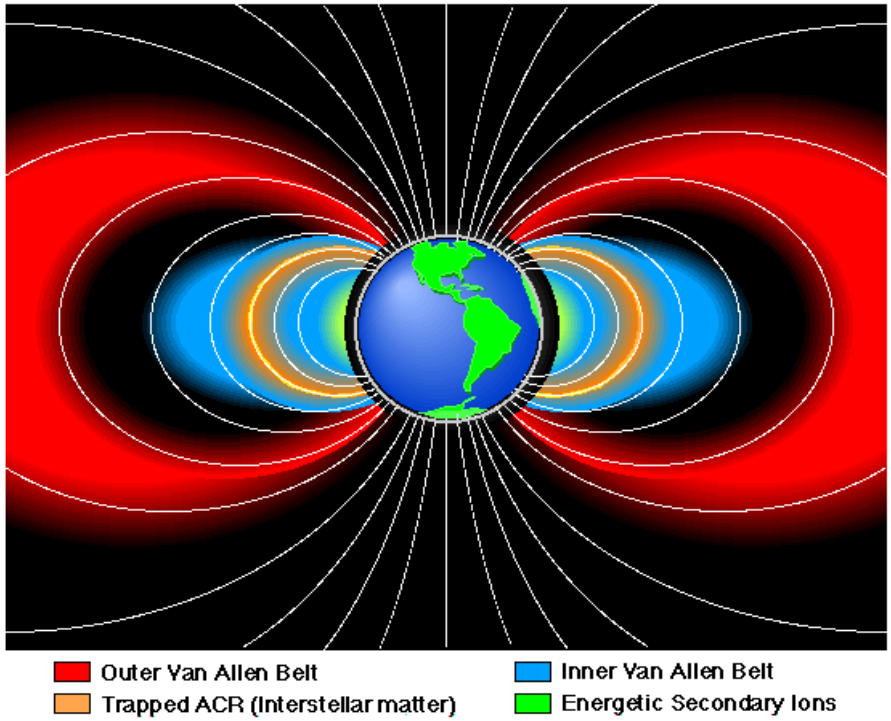
Picture from
Kintner 2009

Infrequent

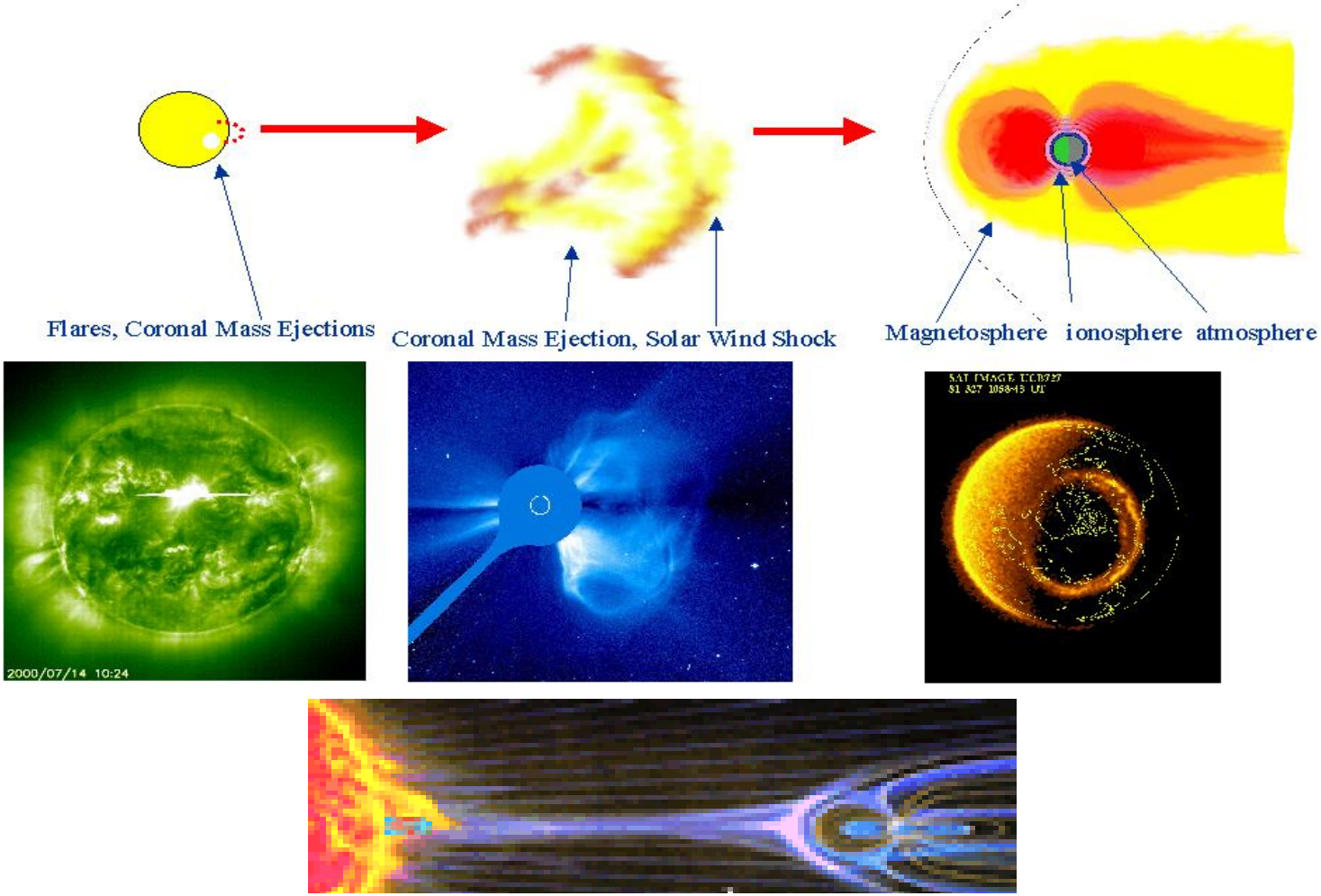
Die Magnetosphäre



http://nssdc.gsfc.nasa.gov/space/model/magnetos/data-based/modeling.html



- Bei einer Veränderung des Sonnenwindes reagiert die Magnetosphäre mit komplexen Redistributionsprozessen des Plasmas und einem veränderten Stromsystem das Magnetosphäre und Ionosphäre miteinander verbindet.
- Das magnetosphärisch-ionosphärisches Stromsystem verstärkt sich während eines Sturms mit der Herausbildung des Ringstroms signifikant → magnetische Störungen messbar (Dst-Index).

DLR

Solar-terrestrische Wirkungskette des Sonnenwindes