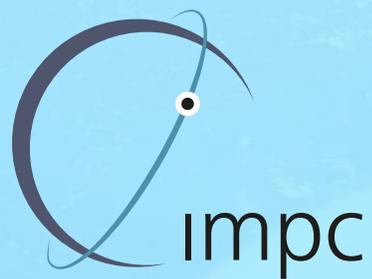
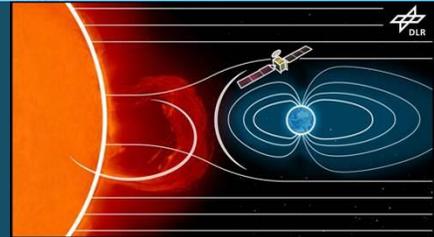
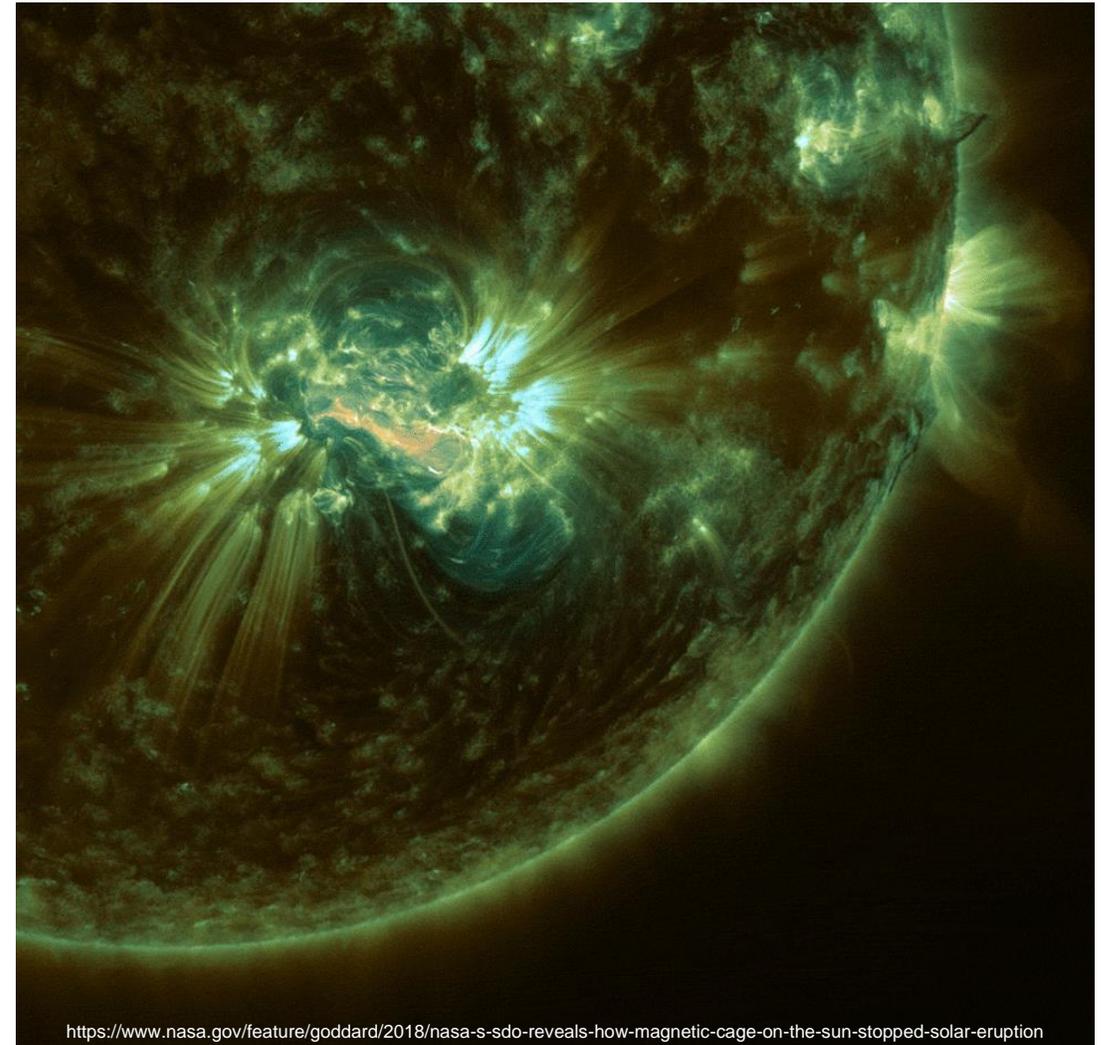


# IMPC – Ionosphere Monitoring and Prediction Center

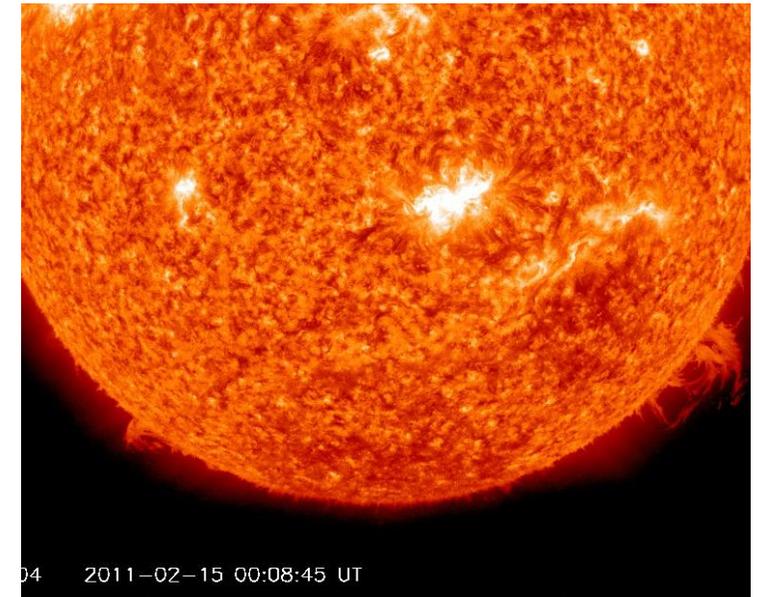
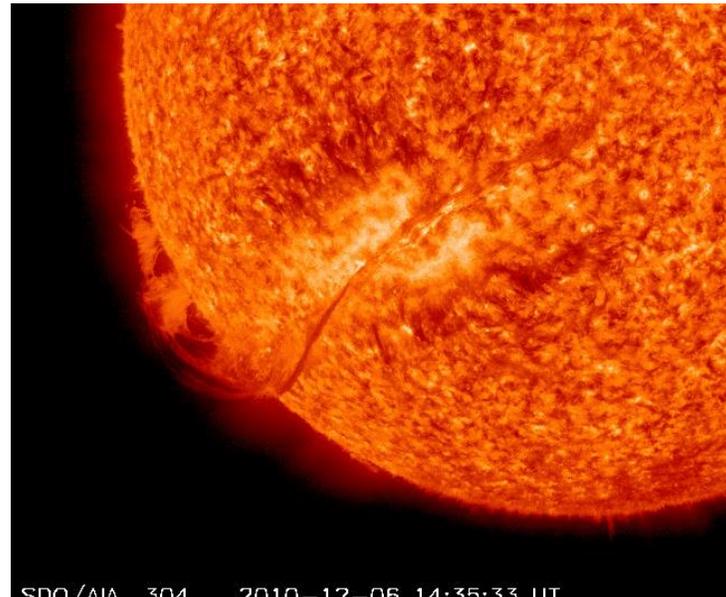
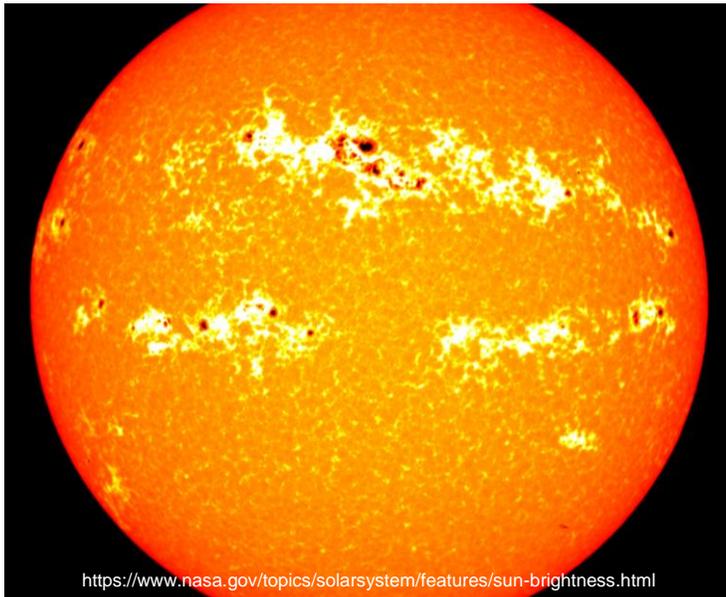


## Die Sonne - treibende Kraft des Weltraumwetters

- Ständiger Strom von geladenen Teilchen
- Hochenergetische geladene Teilchen
- Elektromagnetische Strahlung



## Solare Variabilität

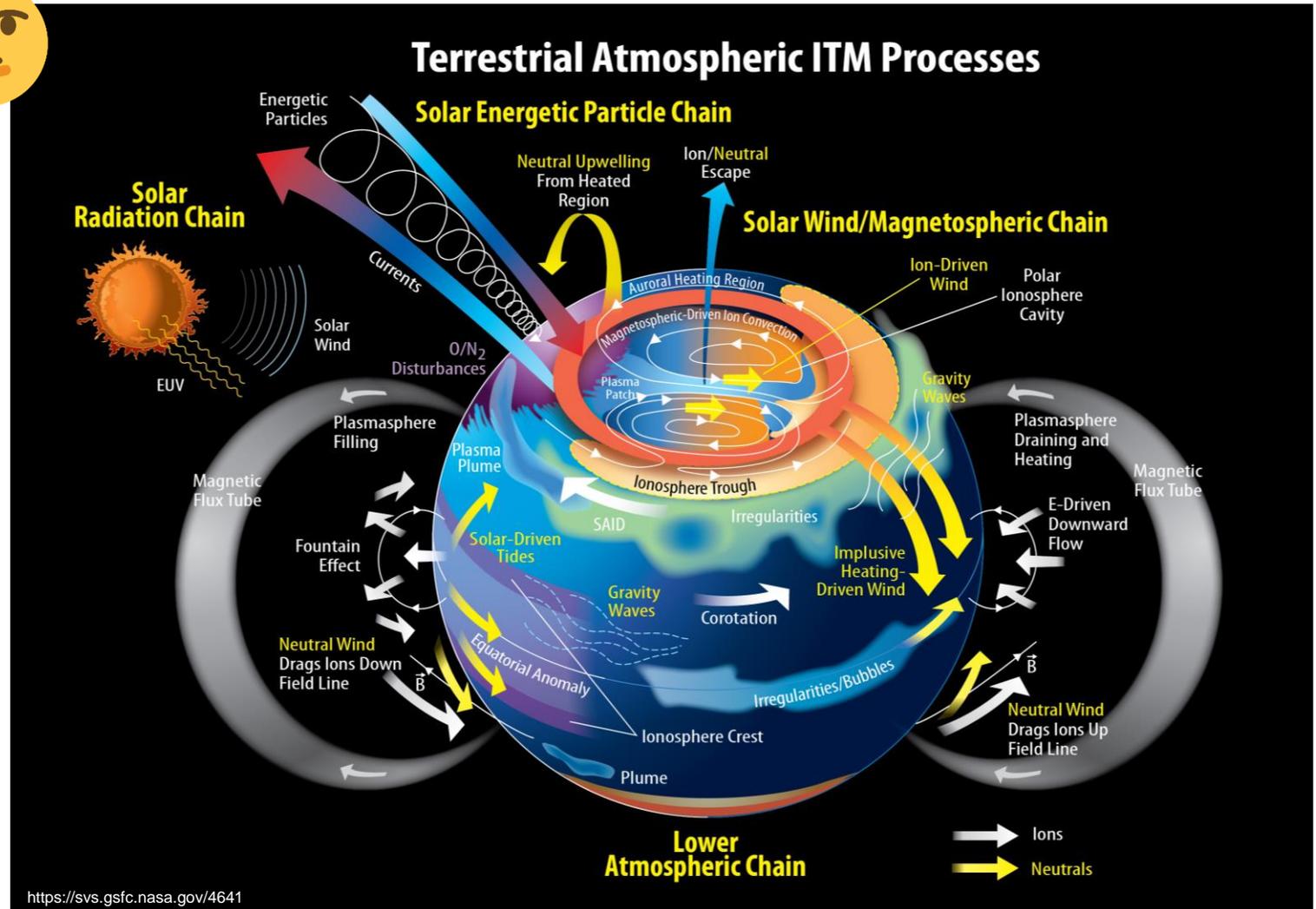


- Auftauchen und Verschwinden von aktiven Zonen
- 27-tägige Sonnenrotation und 11-jähriger Sonnenzyklus
- Koronale Massenauswürfe und Sonneneruptionen

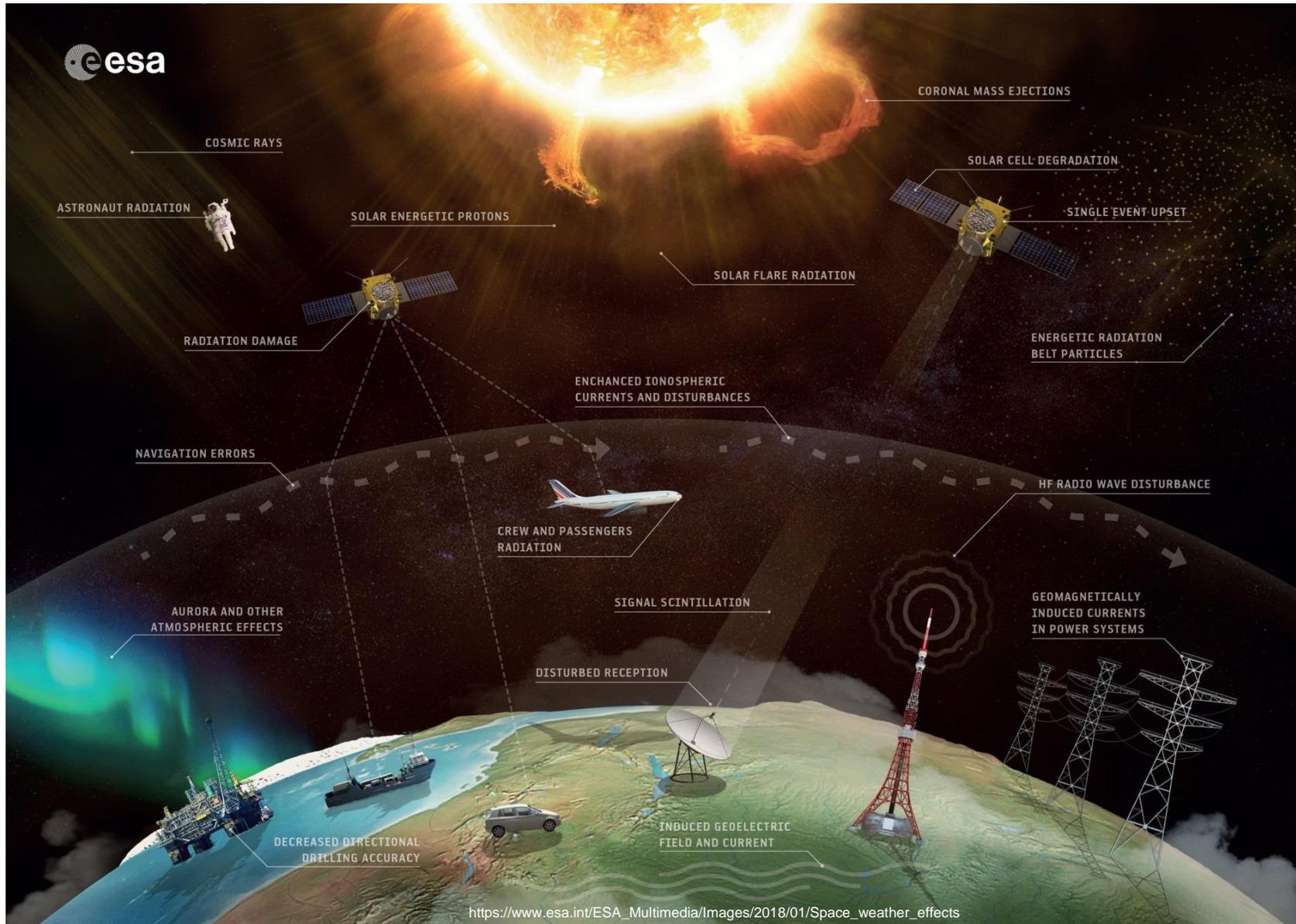
## Auswirkungen auf die Erde



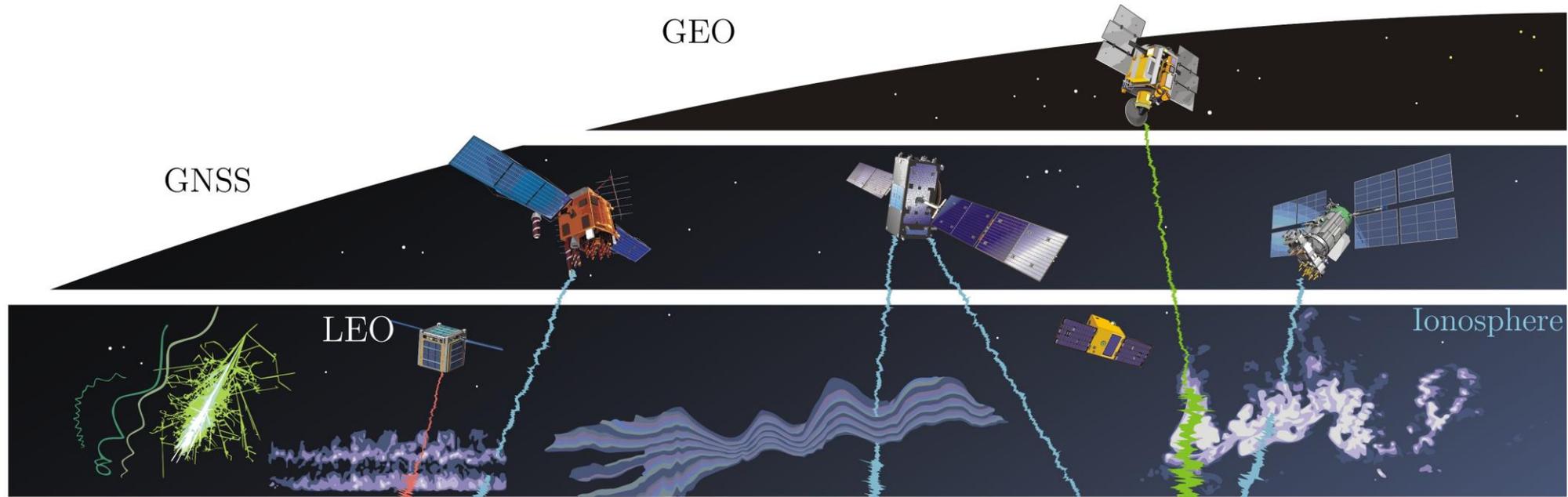
- Warum interessieren wir uns für das Weltraumwetter?



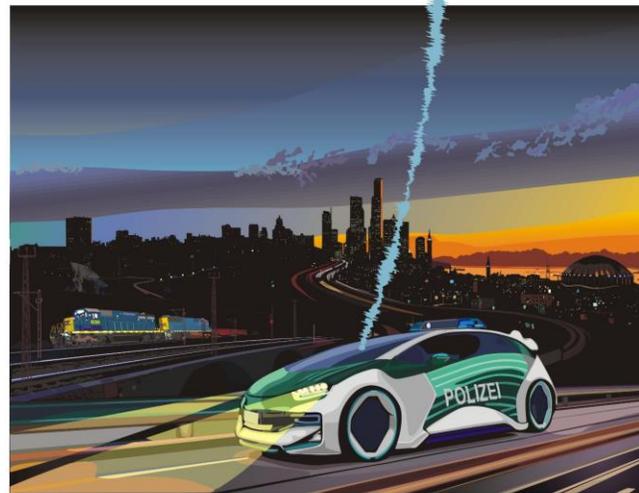
# Auswirkungen des Weltraumwetters



# Auswirkungen des Weltraumwetters



Fernerkundung



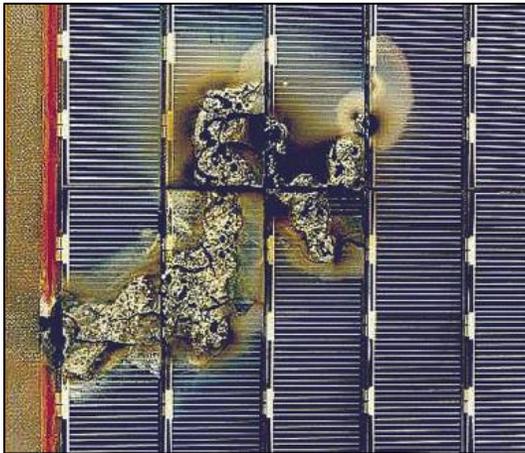
Navigation und Kommunikation



Unterstützungssysteme

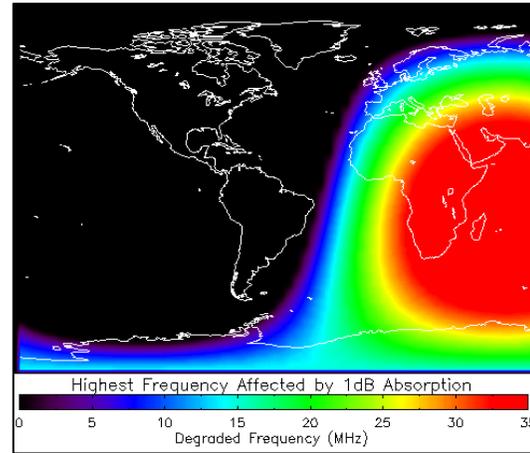
# Auswirkungen des Weltraumwetters

## Satelliteninfrastruktur



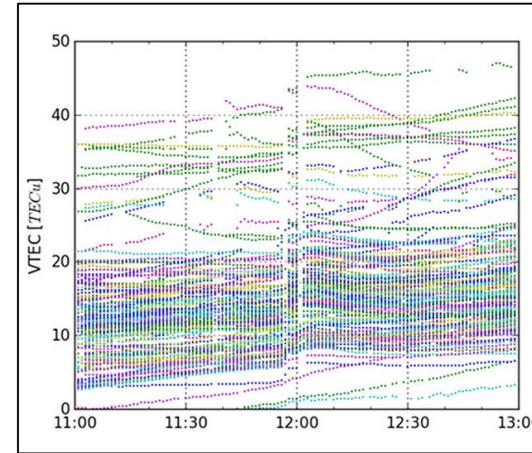
<https://www.nasa.gov/offices/nesc/articles/understanding-the-potential-dangers-of-spacecraft-charging>

## Kommunikation



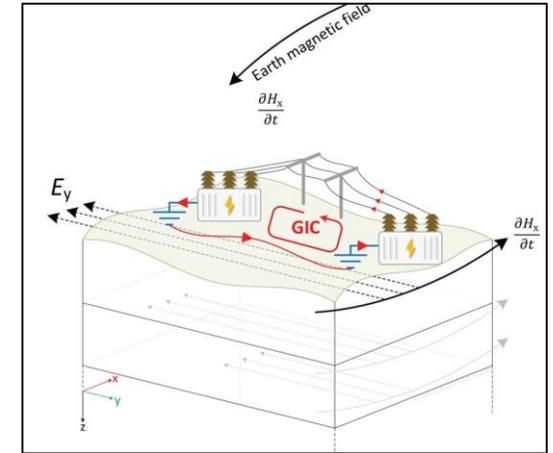
<https://www.swpc.noaa.gov/news/region-2192-another-r3-strong-radio-blackout>

## Navigation



J. Berdermann, 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, 1604-1615, doi: 10.1029/2018SW001933.

## Stromnetze



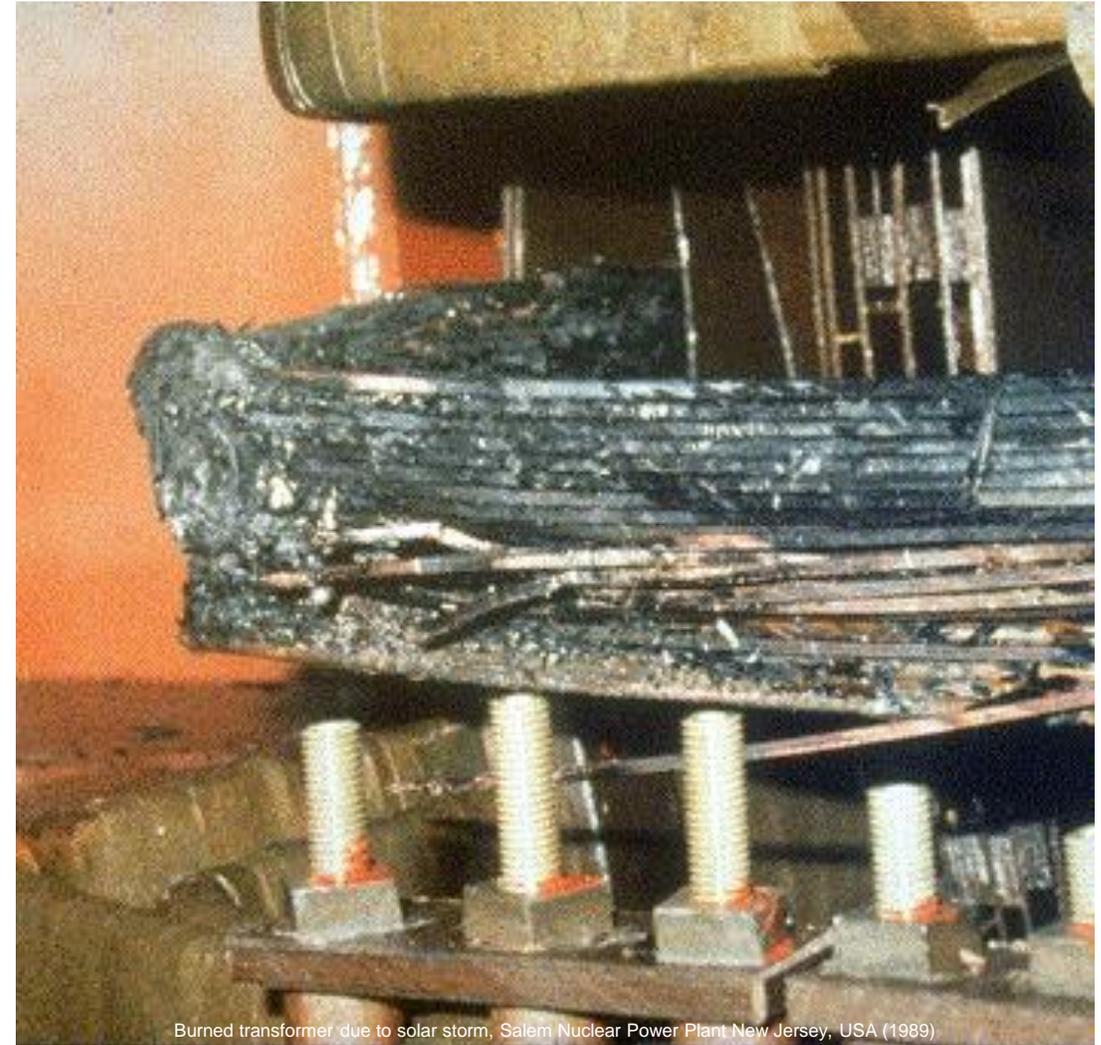
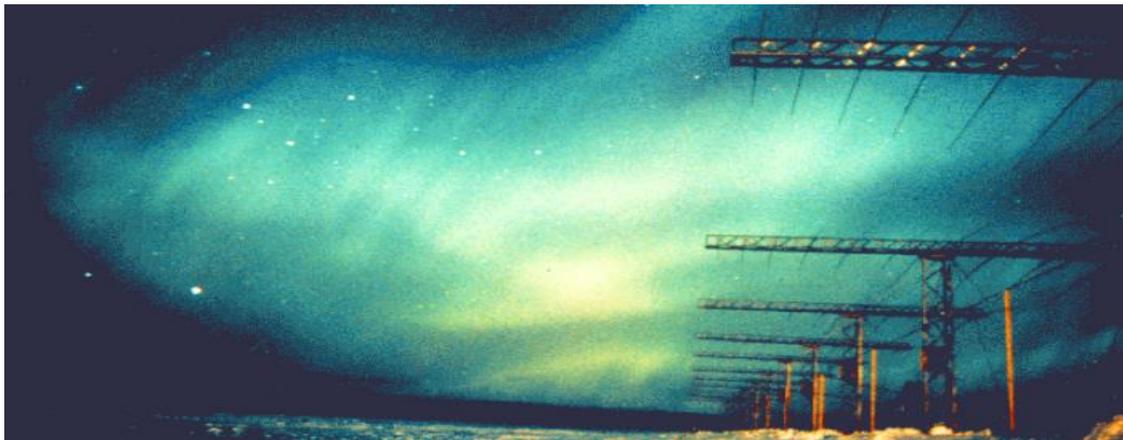
D. Albert, et al. (2020). Analysis of Long-Term GIC Measurements in Transformers in Austria, *Space Weather*, 20, 1, doi: 10.1029/2021sw002912.

- Weltraumwetter kann zu erheblichen Störungen moderner Technologien und damit zu erhöhten Sicherheitsrisiken, wirtschaftlichen Verlusten und verminderter Lebensqualität führen.

# Auswirkungen des Weltraumwetters

## Geomagnetischer Sturm am 13. März 1989 - Quebec

- Beschädigung des terrestrischen Übertragungsnetzes → Stromausfall für 9 Stunden
- 6 Mio. Menschen betroffen



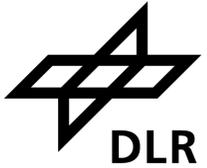
# Auswirkungen des Weltraumwetters

## Absturz der US-Raumstation Skylab - 1973

- Abbremsung in aufgeheizter Thermosphäre aufgrund starker Sonnenaktivität → Absturz
- Trümmerteile wurden in der Nähe der australischen Stadt Esperance gefunden
- 400 Dollar Strafe für die NASA wegen illegaler Müllentsorgung!
- Scott Barley von Highway Radio sammelte das Geld im April 2009 bei den Hörern seiner Morgensendung und bezahlte die Strafe im Namen der NASA



# Auswirkungen des Weltraumwetters



**NEWS** UKRAINE LATEST COVID-19 POLITICS U.S. NEWS OPINION BUSINESS BLACK HISTORY NEWSLETTERS WATCH NOW

SPACE

## SpaceX says up to 40 Starlink satellites lost to geomagnetic storm

The now-defunct satellites are expected to fall back to Earth in the coming days and burn up in the atmosphere.



A SpaceX Falcon 9 rocket carrying the 24th batch of approximately 60 Starlink satellites lifts off from Pad 40 at Cape Canaveral Space Force Station on April 7 in Cape Canaveral, Fla. Paul Hennessy / NurPhoto via AP file



**BBC** Sign in Home News Sport Reel Worklife Travel

## NEWS

Home | Coronavirus | Climate | Video | World | UK | Business | Tech | Science | Stories | Entertainment & Arts

World | Africa | Asia | Australia | Europe | Latin America | Middle East | US & Canada

## SpaceX loses 40 satellites to geomagnetic storm a day after launch

9 February



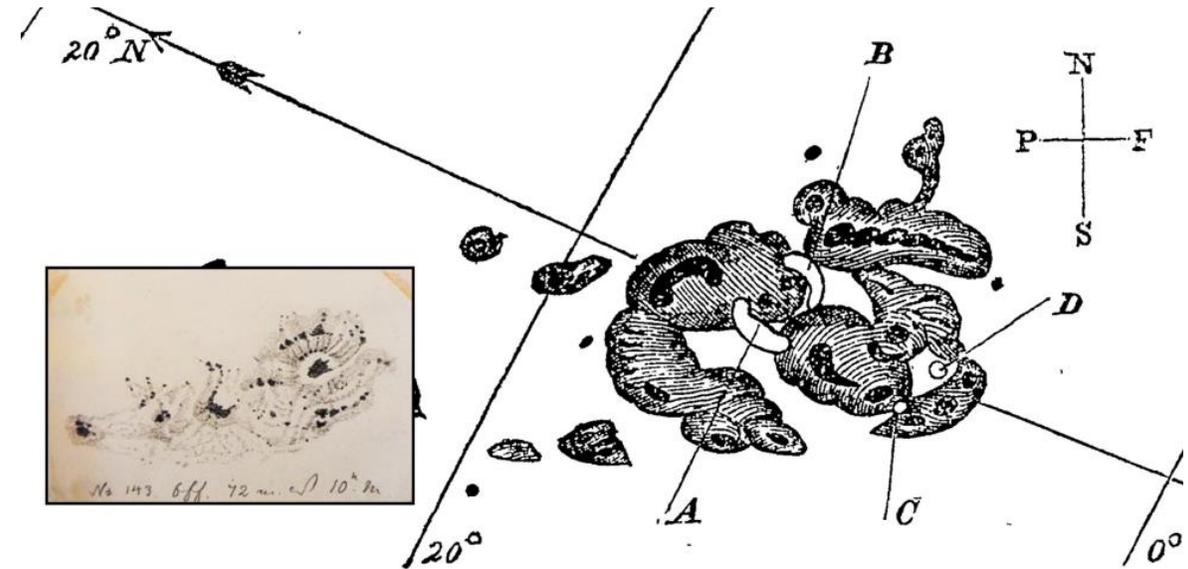
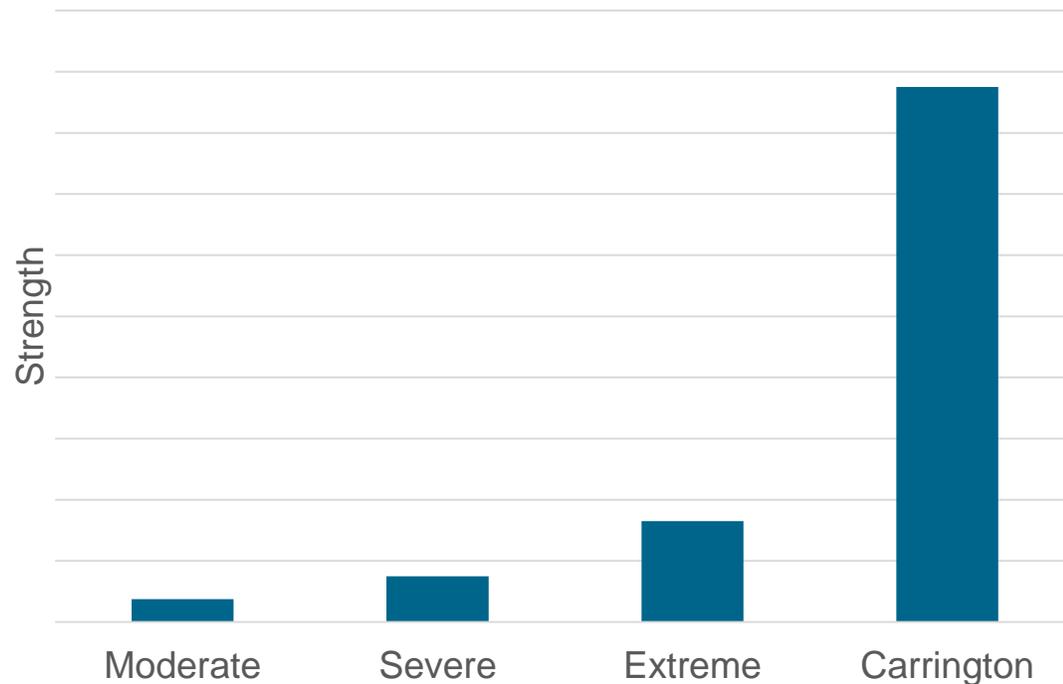
This Falcon 9 rocket launch on 3 February carried 49 Starlink satellites, most of which were caught by the storm

SpaceX has lost dozens of satellites after they were hit by a geomagnetic storm a day after launch, causing them to fall from orbit and burn up.

# Carrington Event

## Wie extrem?

- September 1859: Stärkster Sonnensturm seit Beginn der Aufzeichnungen (Sonnenzyklus 10)



Hayakawa, H., Ebihara, Y., Willis, D. M., Toriumi, S., Iju, T., Hattori, K., et al (2019). Temporal and spatial evolutions of a large sunspot group and great auroral storms around the Carrington event in 1859. *Space Weather*, 17, 1553– 1569. <https://doi.org/10.1029/2019SW002269>



Figure 1. 201972 – MS Special 7–9, National Diet Library, ff. 66–74 (in Nagasaki) corresponding to record 201972 in Table 1 in the Appendix. ©Courtesy: the National Diet Library.

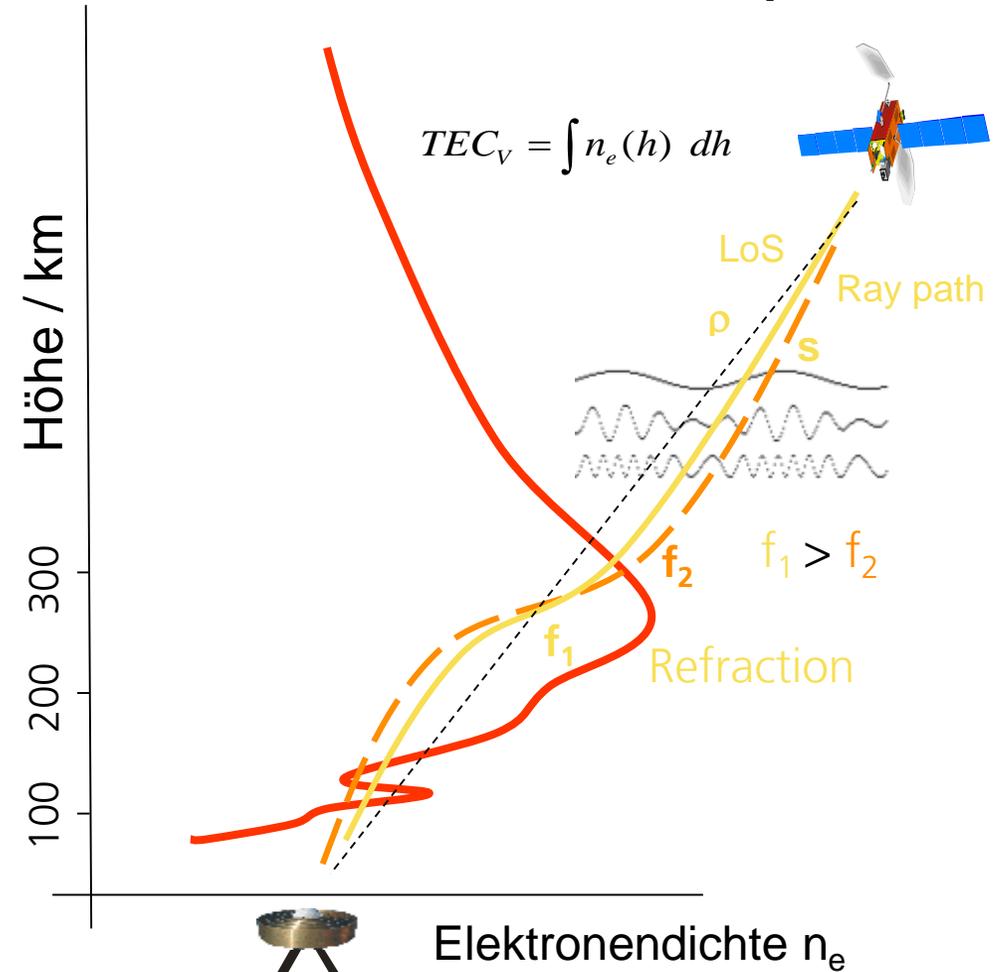
# Auswirkungen des Plasmas in der Ionosphäre

Ab einer Höhe von etwa 50 km befinden sich in der Atmosphäre ständig geladene Teilchen (Plasma), deren maximale Plasmadichte in etwa 350 km Höhe erreicht wird.

Der Bereich zwischen 50 km und 1000 km Höhe, der durch diese Plasmen gekennzeichnet ist, wird **Ionosphäre** genannt.

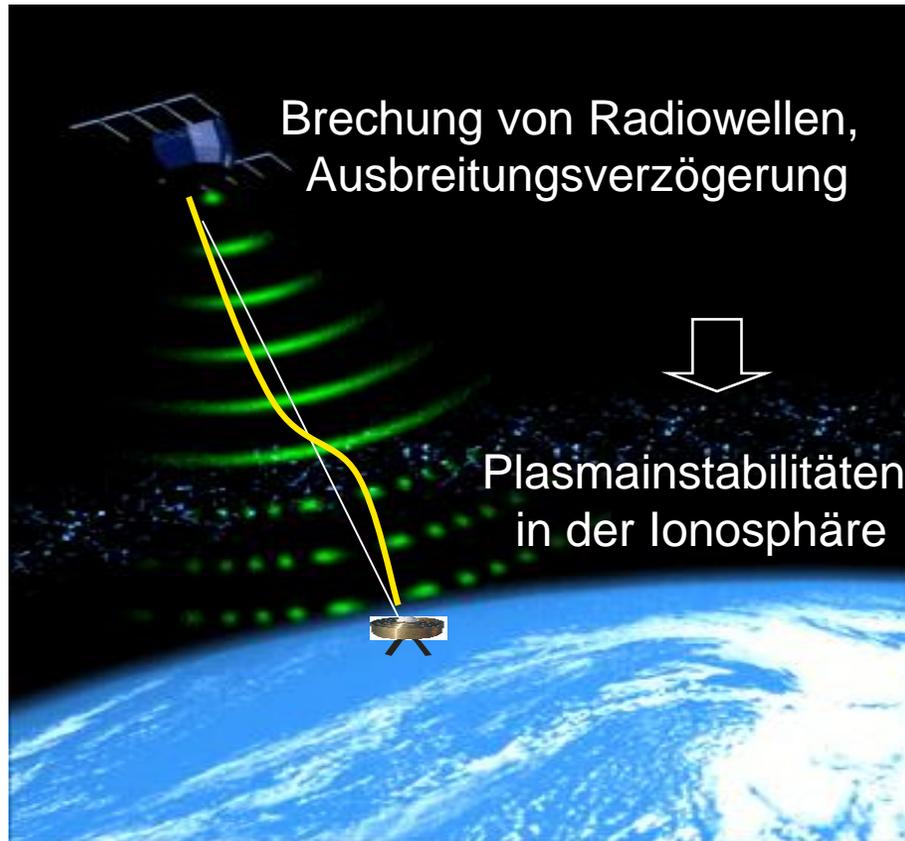
Das Ionosphärenplasma verursacht **Reflexion, Brechung, Beugung, Absorption und Streuung** von Funksignalen.

## Vertikale Struktur der Ionosphäre



# Auswirkungen ionosphärischer Effekte

## Eine Herausforderung für Navigation, Kommunikation und Erdbeobachtung

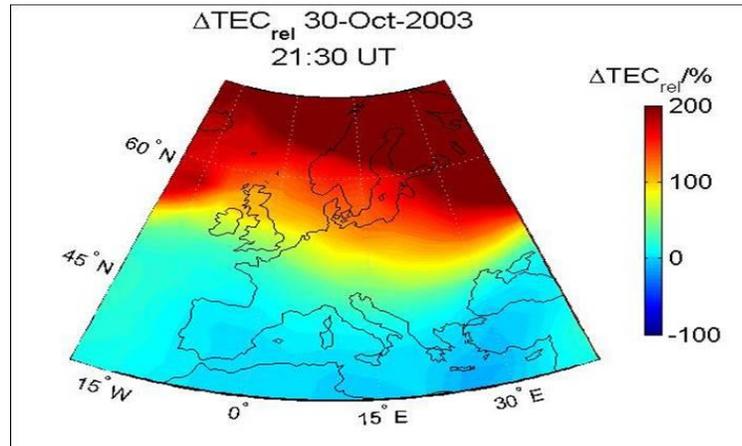


Das Ionosphärenplasma verursacht eine Verzögerung der Funksignale, und somit zur **Annahme einer zu großen Entfernung zwischen dem Satellit und dem Messort.**

Plasmainstabilitäten verursachen Schwankungen der Signalstärke und De-fokussierung des Signals.

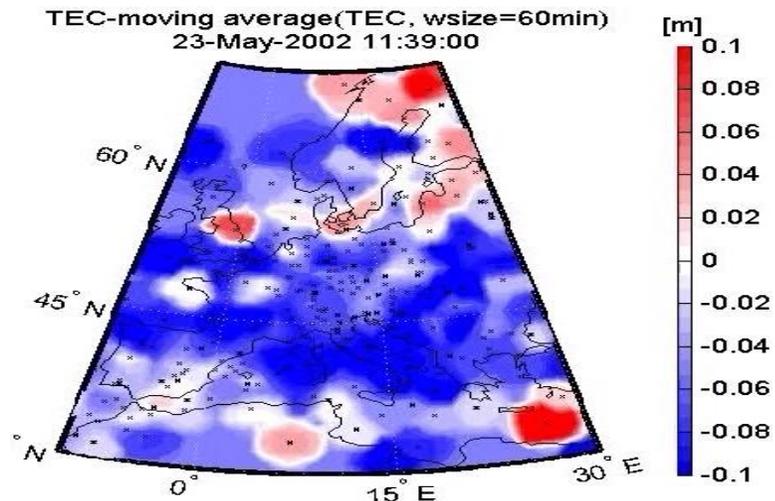
**Signalverlust ist möglich !**

# Auswirkungen des Weltraumwetters auf die Ionosphäre



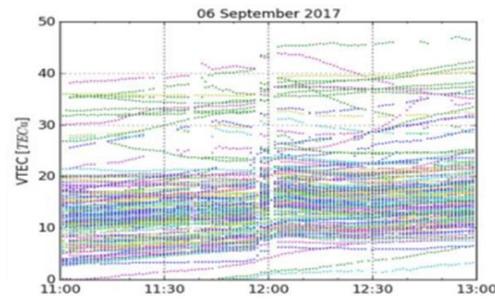
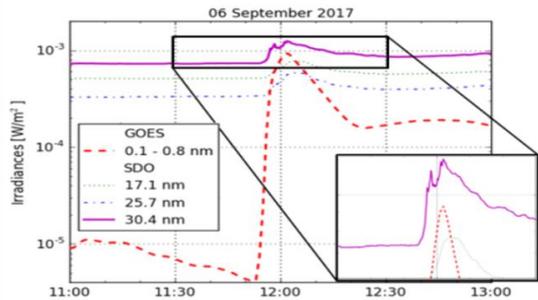
## Ionosphärische Störungen durch Kopplung des Sonnenwindes mit der Geosphäre

- Abweichungen des Gesamtelektronengehalts (TEC) der Ionosphäre um mehr als 200% während des Halloween-Sturms Ende Oktober 2003
- Störungen werden oft in polaren Breiten erzeugt und breiten sich dann in Richtung Äquator aus

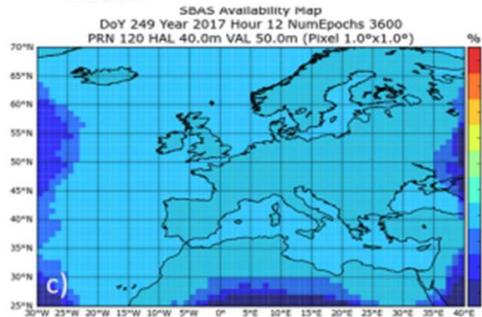


# Auswirkungen des Weltraumwetters auf GNSS Flares und Radio Bursts

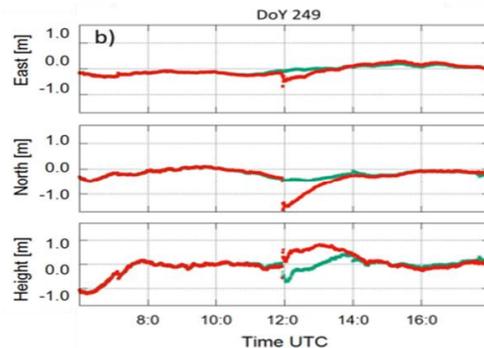
## Loss of Lock



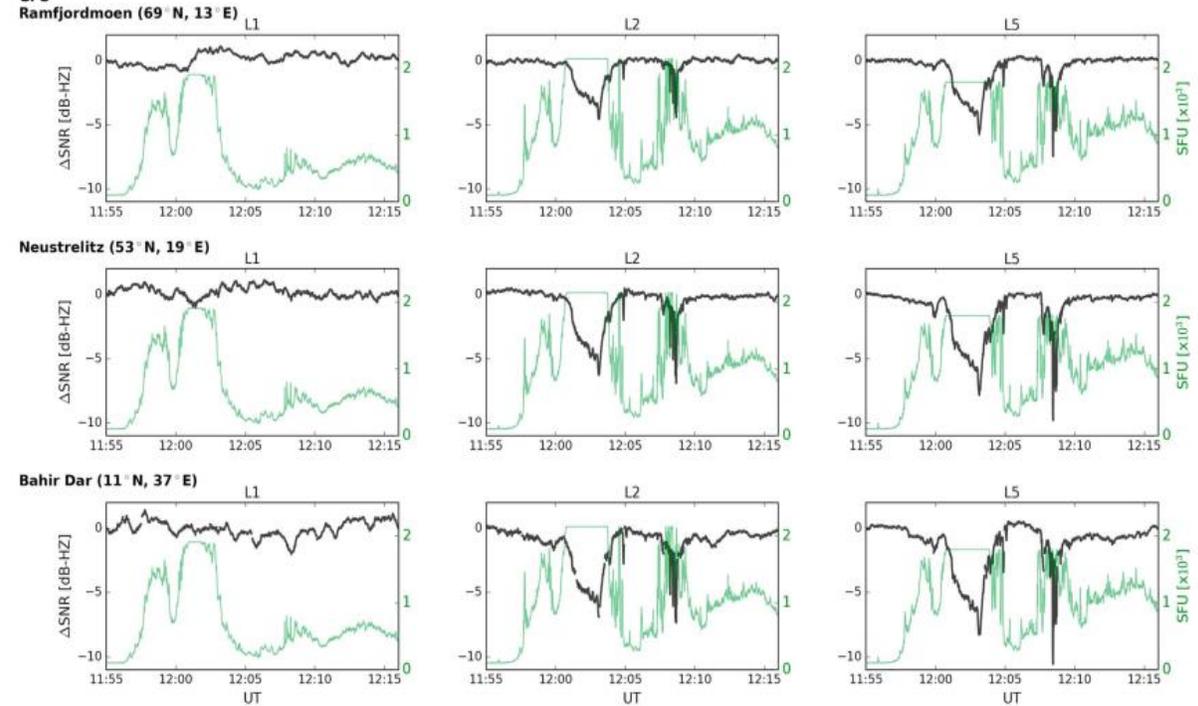
## EGNOS



## Precise Point Positioning



## GPS



**Quelle:** X9.3 Sonneneruption am 6. September 2017

**Auswirkungen:** Sonneneruptionen mit einer starken EUV-Komponente um 30 nm können GNSS-Positionsbestimmungsdienste, die z. B. in der Luftfahrt und der Seeschifffahrt genutzt werden, ernsthaft beeinträchtigen.



SCAN ME

**Quelle:** Solar Radio Burst am 6. September 2017

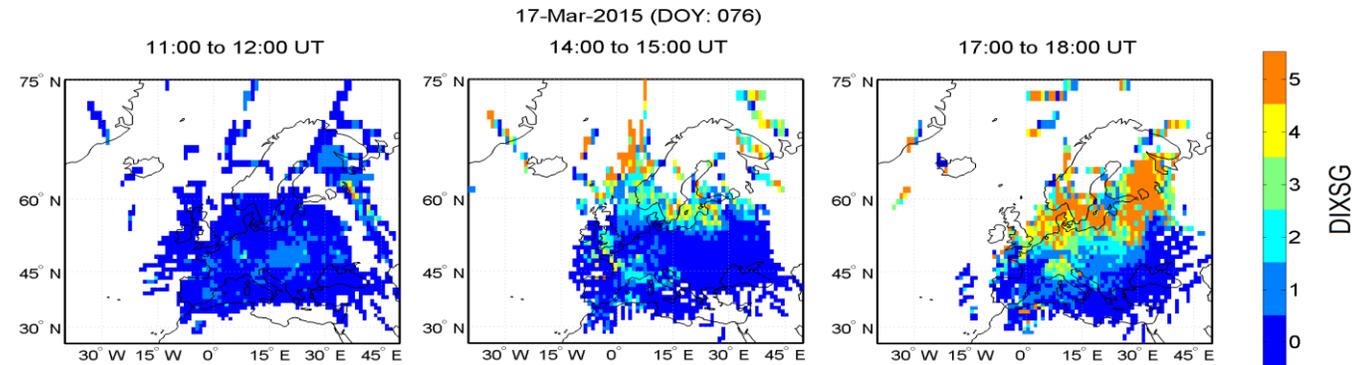
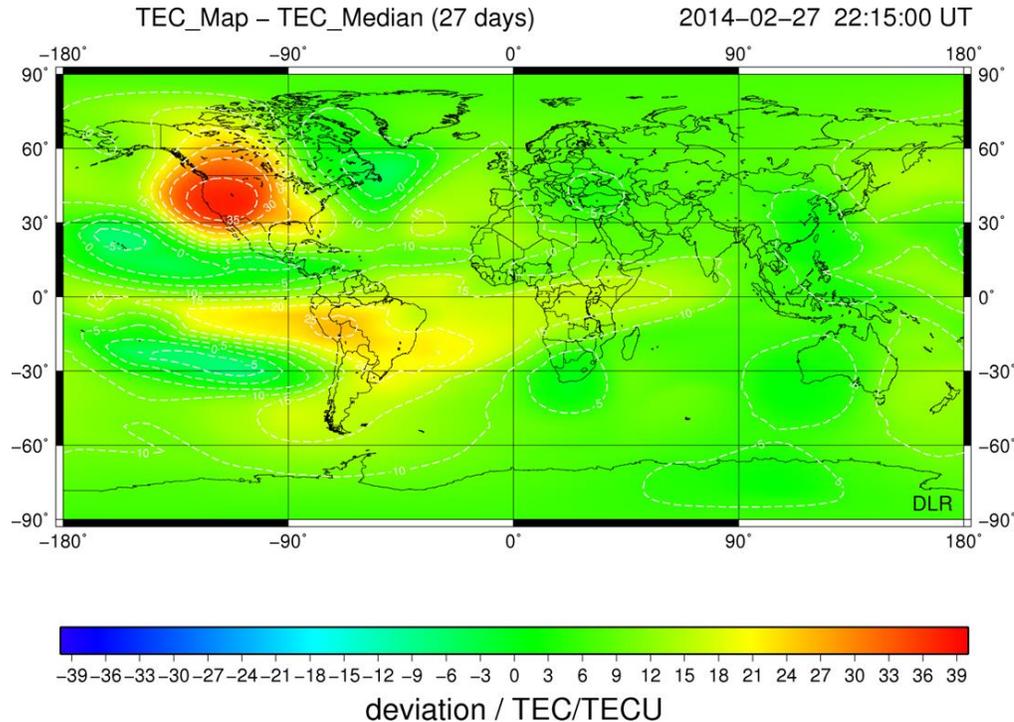
**Auswirkungen:** Die solare Radiopulsation verursachte eine größere SNR-Reduktion für die GPS L2/L5 und GALILEO L5 Frequenzen. Alle GNSS-Satellitensysteme in Sichtweite waren betroffen.



SCAN ME

# Auswirkungen des Weltraumwetters auf GNSS

## Ionosphärenstürme

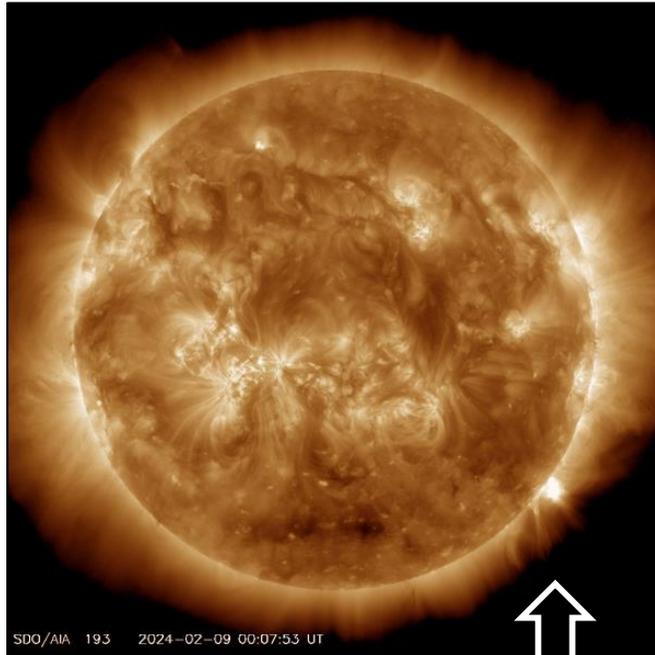


**Quelle:** Ionosphärischer Sturm am 17. März 2015 "St. Patrick Day Storm"

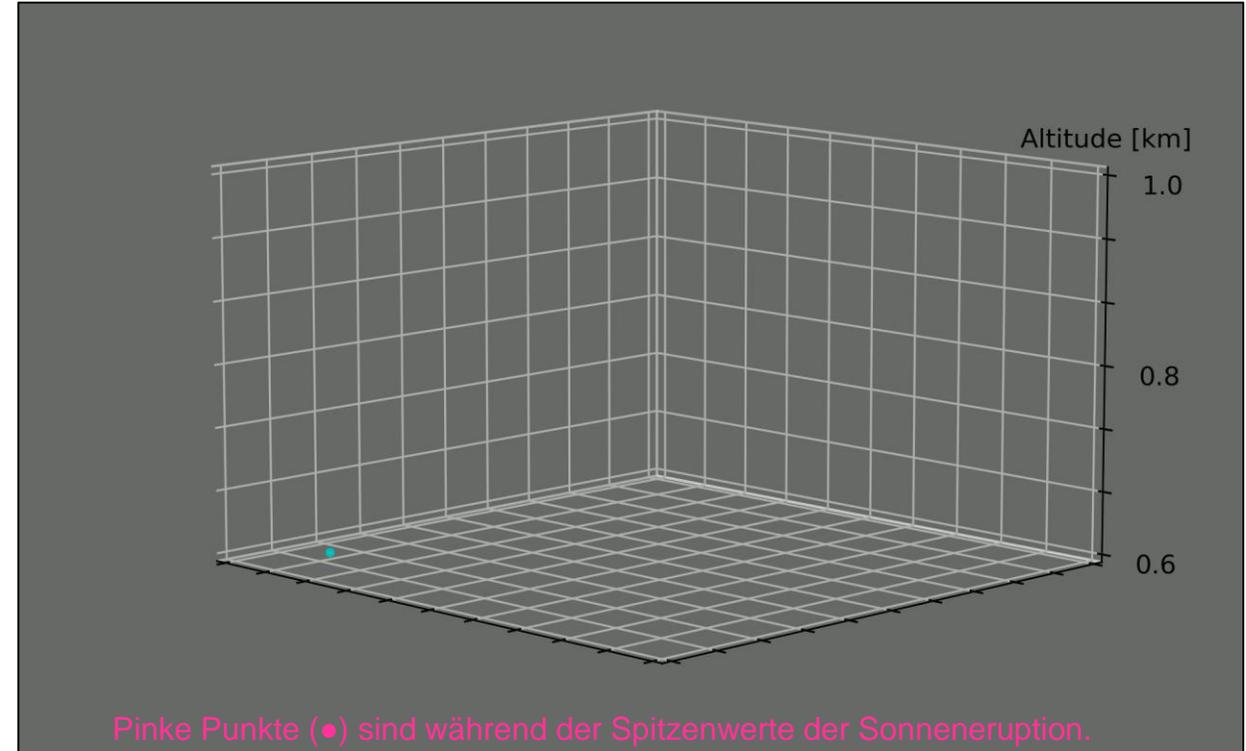
**Auswirkungen:** Verringerung der GNSS-Positionierungsleistung und Szintillationsereignisse in der Polarregion

**Quelle:** Ionosphärischer Sturm am 27.02.2014

**Auswirkungen:** Ausfälle von SBAS aufgrund von sturmbedingten ionosphärischen Störungen, Faraday-Rotation des Polarisationsvektors von SAR-Signalen



[1]



## 2. Februar 2024 13:14

Eine extreme Sonneneruption (X-Klasse) mit Schwankungen im gesamten Spektrum trat auf.



Die obige Animation zeigt einen Flugzeugkurs mit Datenlücken und Schwankungen, die durch Verlust der Kommunikation sowie durch Fehler der Navigation während der Sonneneruption ausgelöst werden.

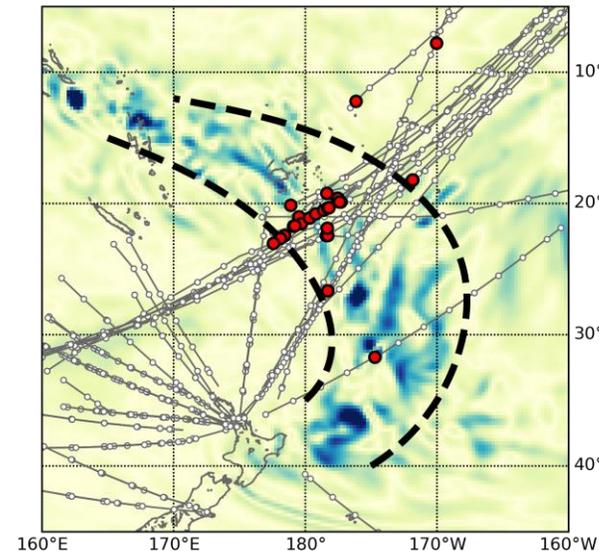
[1] <https://sdo.gsfc.nasa.gov/data/dailymov.php>

[2] [https://de.wikipedia.org/wiki/Cirrus\\_SR22#/media/Datei:Cirrus.sr22.n147vc.arp.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Cirrus_SR22#/media/Datei:Cirrus.sr22.n147vc.arp.jpg)

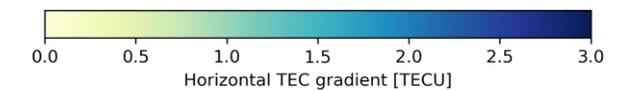
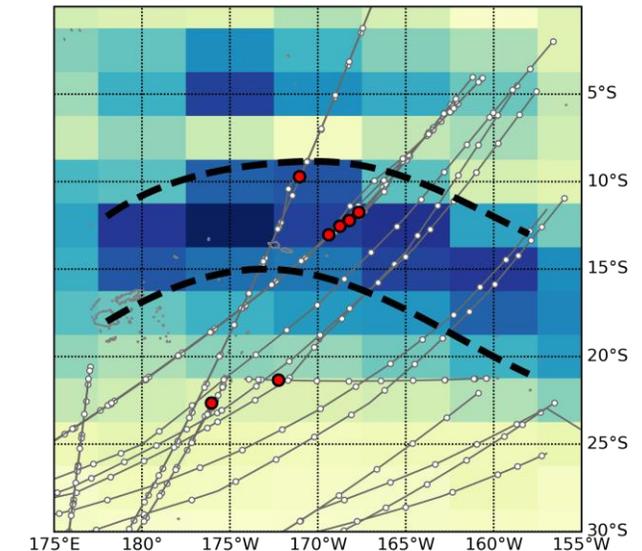
# Kurz gesagt: Stören Ionosphärenstürme die Verfolgung von Flugzeugen?!

- Ereignisberichte, rote Punkte (●) in den Abbildungen, werden ausgelöst und gesendet, wenn ein Flugzeug definierte Grenzwerte überschreitet, z.B. die Entfernung von der erwarteten Position.
- Gruppen dieser Berichte treten bei schwerem Wetter auf (zwischen den gestrichelten Linien), wenn die Flugzeugbesatzungen Kurskorrekturen durchführen.

Sturm



Ionosphärensturm

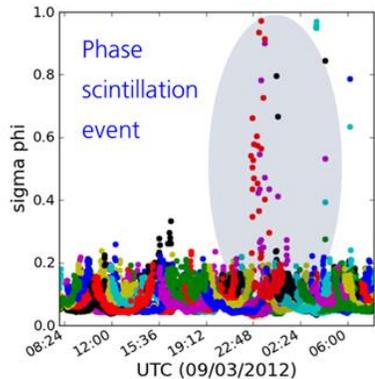
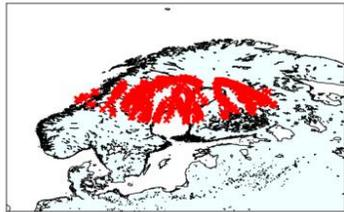


## ▪ Unsere Forschungsfrage:

Sind die Gruppen, die wir für schwereres Weltraumwetter finden, zufällig oder gibt es auch einen Zusammenhang?

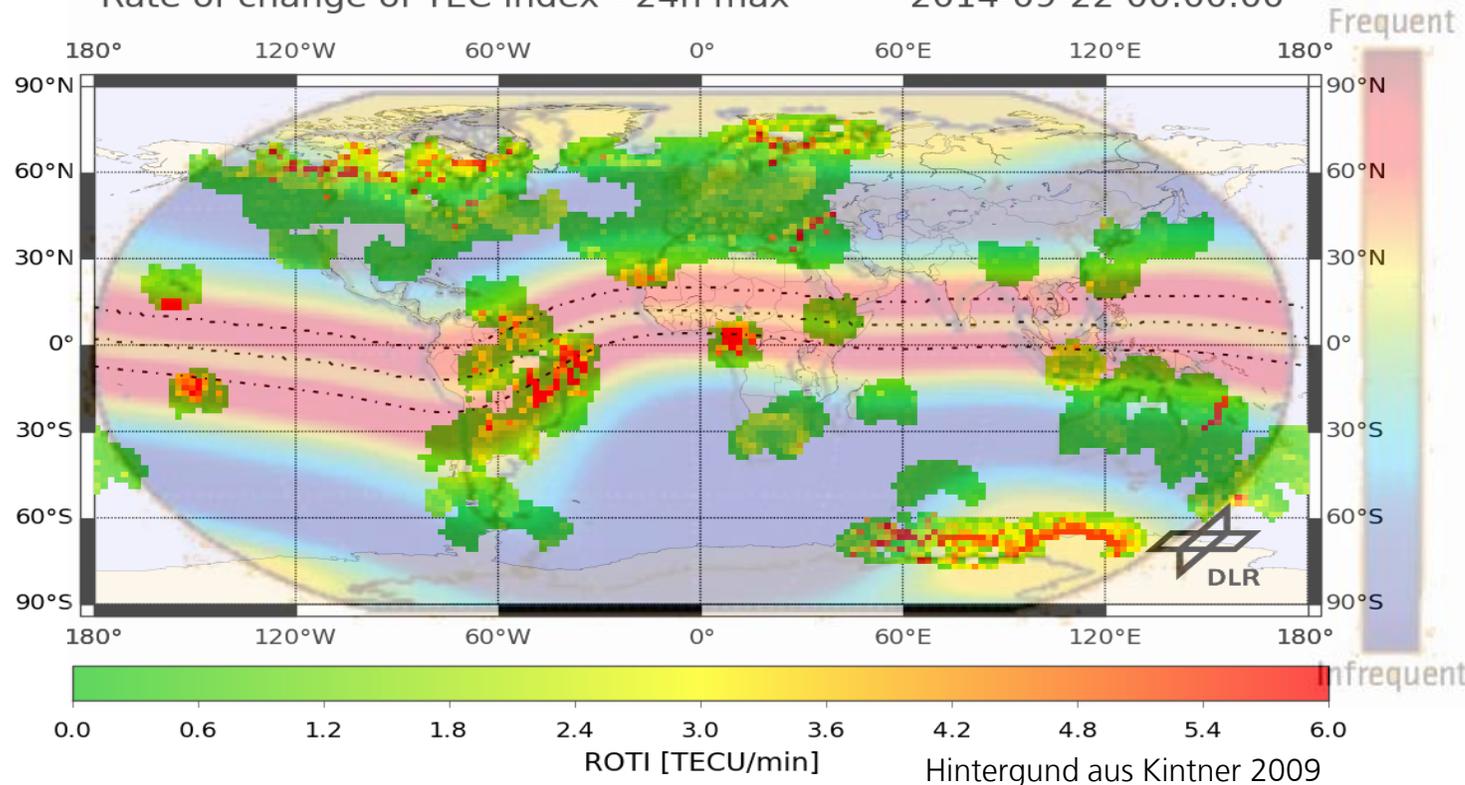
# Auswirkungen des Weltraumwetters auf GNSS Plasma-Irregularitäten

Kiruna / Sweden



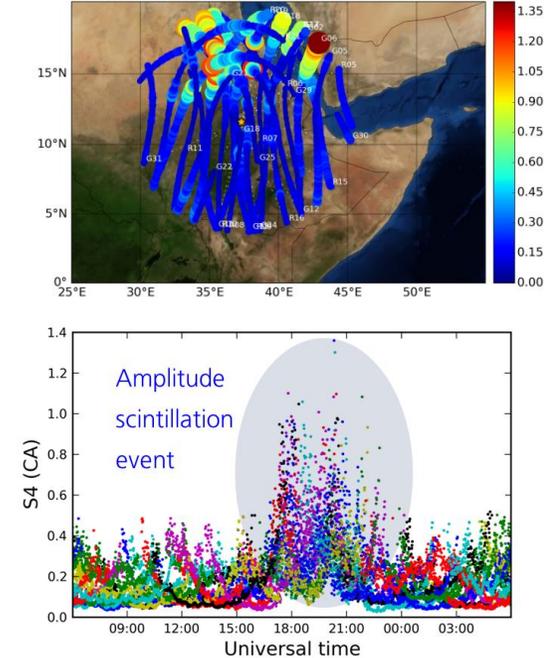
Rate of change of TEC index - 24h max

2014-09-22 00:00:00



Bahir Dar/ Ethiopia

Amplitude Scintillations over Bahir Dar, Ethiopia  
2015-02-28 16:00-00:00 UTC



**Quelle:** Geomagnetische Stürme, Strömungsinversion des äquatorialen Plasmas während der Abendstunden

**Region:** Polar , Äquatorial

**Dauer:** Stunden

**Auswirkung:** GNSS-Signal wird durch ionosphärische Unregelmäßigkeiten (Plasmablase) gestört und kann in schweren Fällen verloren gehen; Radaranwendungen (SAR-Missionen); Fernerkundungsanwendungen (Reflektometrie, Limb Sounding)

# Institut für solar-terrestrische Physik (DLR-SO), 2019 in Neustrelitz gegründet



## Mission und Ziele

Schaffung der wissenschaftlichen und technologischen Voraussetzungen für **rechtzeitige, genaue und zuverlässige Beobachtungen und Vorhersagen des Weltraumwetters**:

1. **Wissenschaftliches Verständnis der beteiligten physikalischen Prozesse** (System Ionosphäre-Thermosphäre-Magnetosphäre und deren Wechselwirkung mit der Sonne).
2. Transfer von Ergebnissen aus der Grundlagenforschung für die **Entwicklung von nutzerrelevanten Weltraumwetterprodukten**.
3. **Förderung der Widerstandsfähigkeit kritischer technologischer Infrastrukturen** in unserer Gesellschaft.



Artist: Dmytro Vasyliev

# Institut für solar-terrestrische Physik (DLR-SO), 2019 in Neustrelitz gegründet

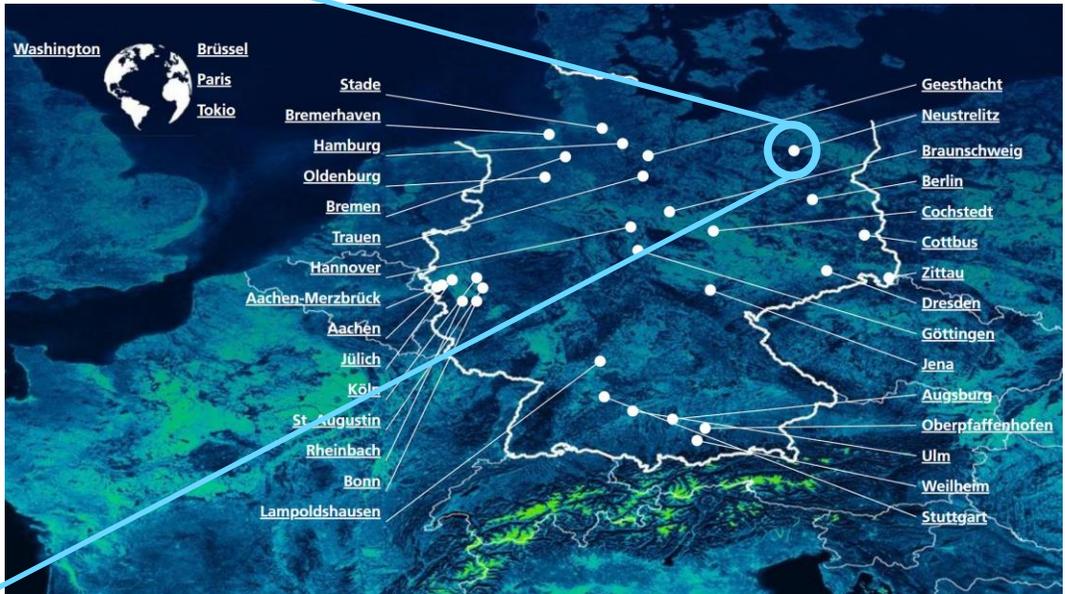


## Abteilungen

Weltraumwetterbeobachtung

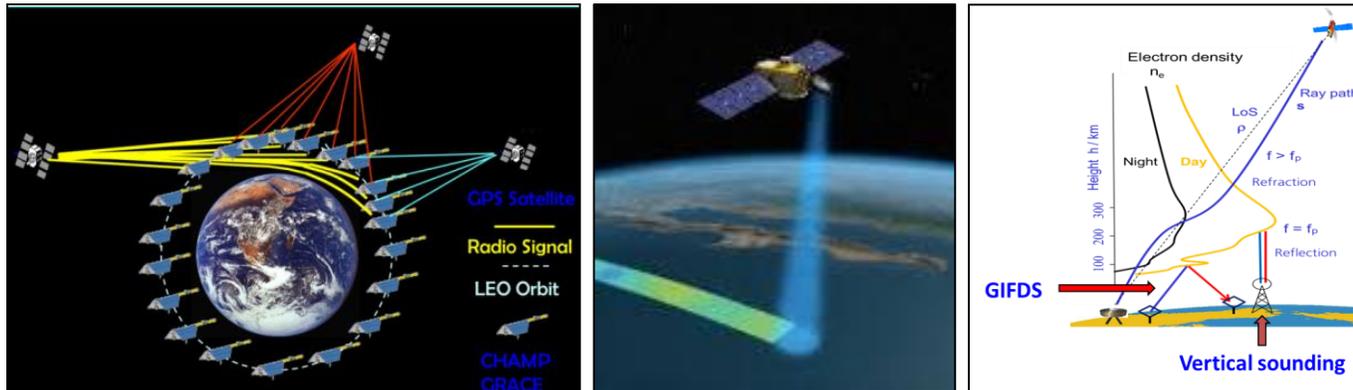
Solar-Terrestrische  
Kopplungsprozesse

Weltraumwettereinfluss

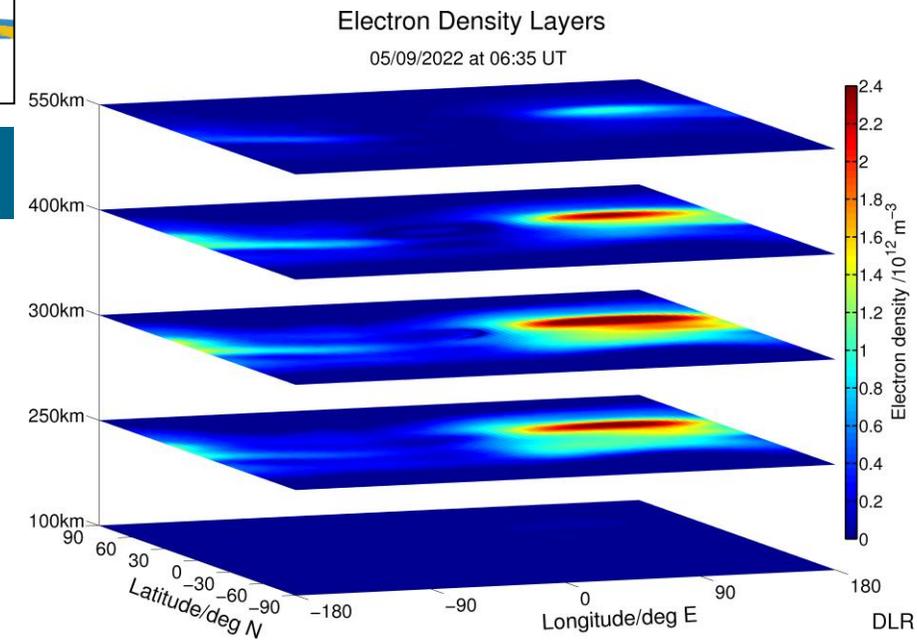
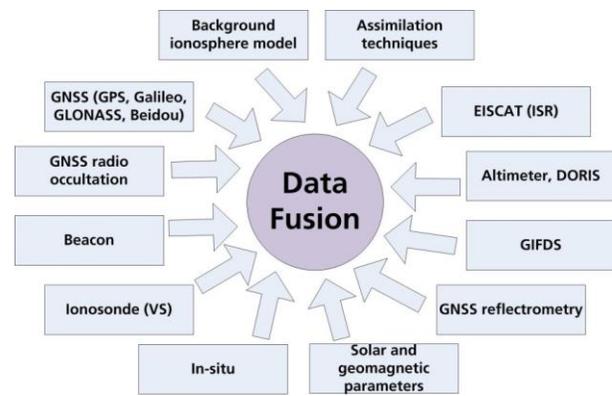




## Boden- und weltraumgestützte Weltraumwetterüberwachung

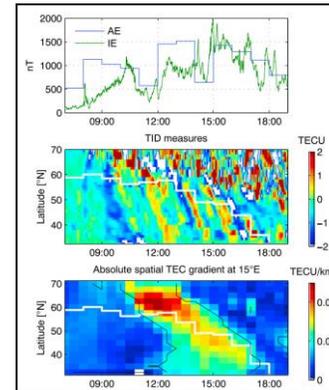
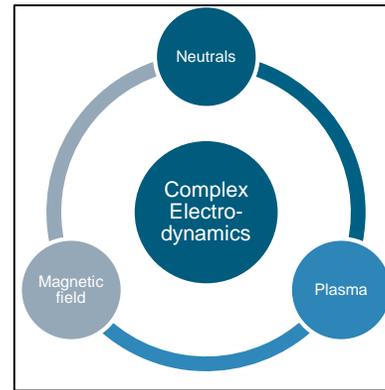
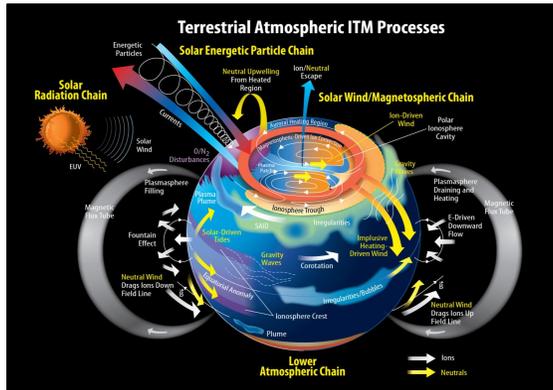


## Datenfusion und tomographische Rekonstruktionen

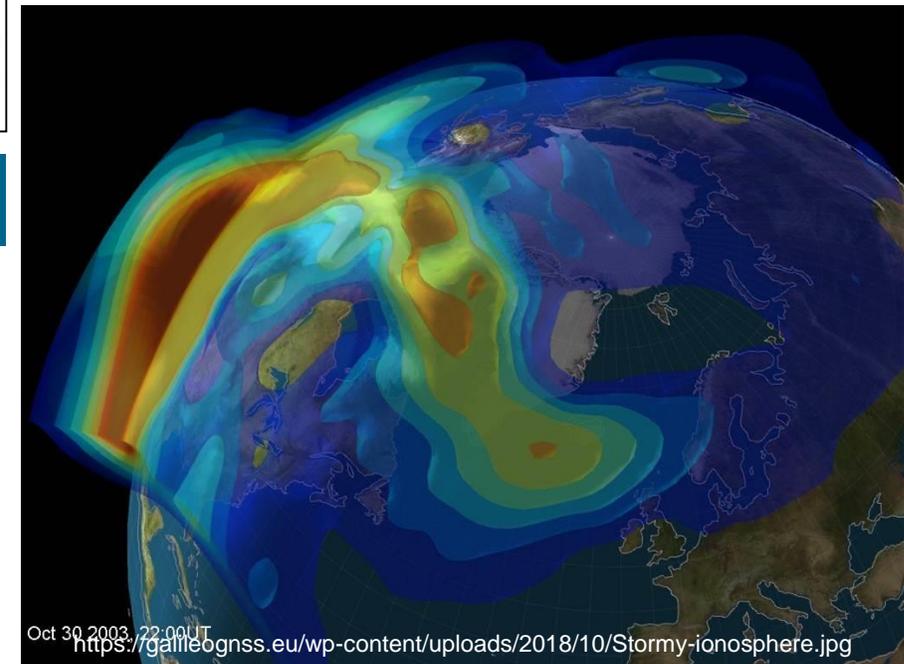
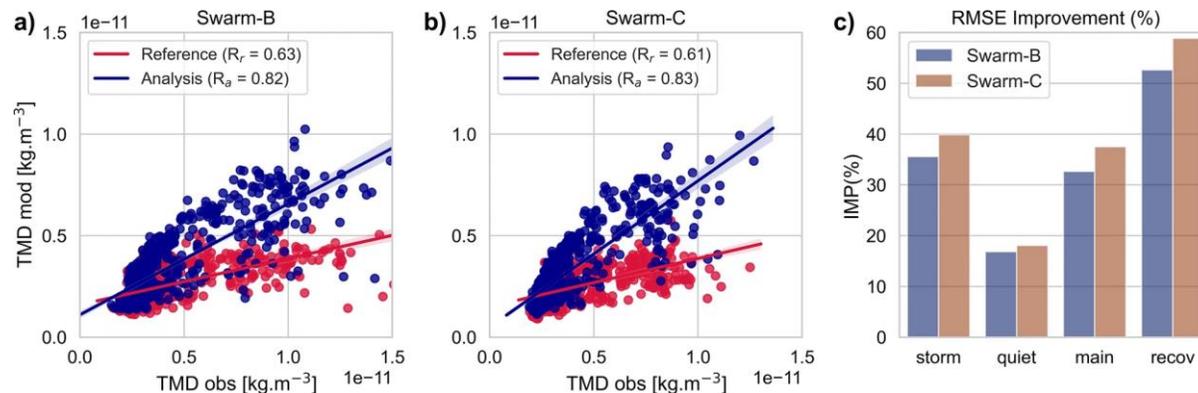




## Verständnis der Prozesse in der Thermosphäre/Ionosphäre



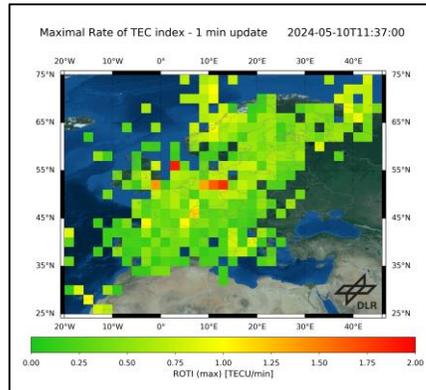
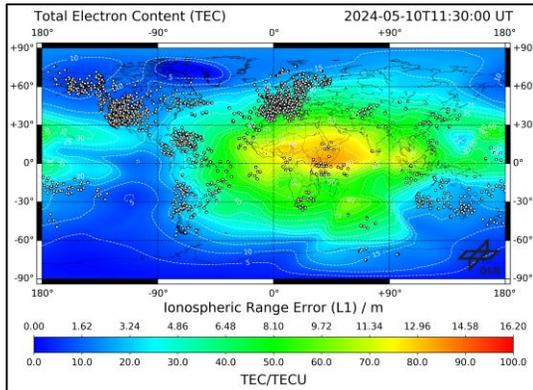
## Vorhersage der Thermosphäre/Ionosphäre



# Abteilung Weltraumwettereinfluss



## Prä-operationelle Dienste



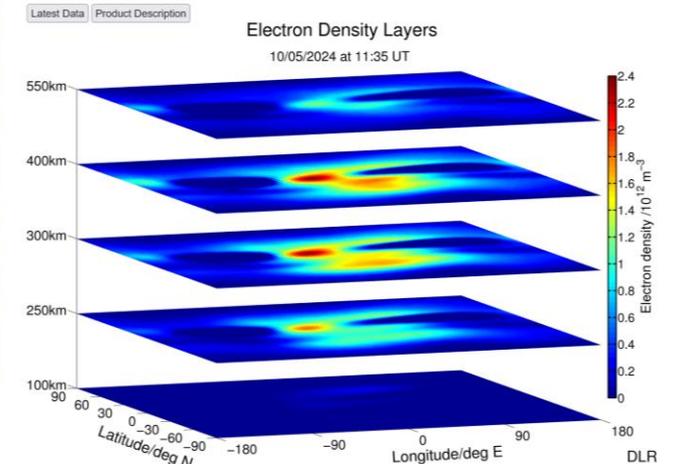
## Ionosphere Monitoring and Prediction Center

[About](#)
[News](#)
[Products](#)
[Warnings](#)
[Applications](#)
[Projects](#)
[FAQ](#)

[Login](#)
[Sign up](#)

<b>Total Electron Content</b>
Near Real-Time TEC
NRT TEC, Europe
Forecast TEC
1 h FC TEC, Europe
1 h FC TEC, Global
Beacon TEC Data
Neustrelitz
<b>Ionospheric Perturbations</b>
Rate of Change of TEC Index
1 min mean ROTI, Europe
1 min mean ROTI, Global
1 min max ROTI, Europe
1 min max ROTI, Global
Equivalent Slab Thickness
Juliusruh
Pruhonice
<b>Electron Density</b>
Electron Density Layers
NmF2 Reconstructed
NmF2 Model
<b>Swarm Ionospheric Gradients</b>
No Gradient Ionosphere index (NEGIX)
TEC Gradient Ionosphere index (TEGIX)
Local Scintillation Measurements

## Electron Density Layers



According to the pioneer work of Sir E. Appleton the vertical structure of the terrestrial ionosphere may be divided into different layers (D, E, F1, F2) with different physical characteristics. The layers are primarily characterized by its height and peak electron density. Typical plasma frequencies (electron densities are in the order of 10 MHz / 10<sup>12</sup> electrons / m<sup>3</sup>).

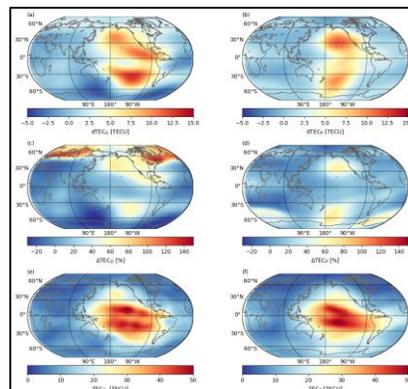
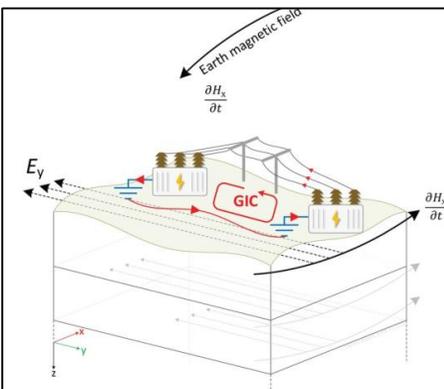
Shown are here global maps of the peak electron density of the F2 layer and related electron density maps at selected altitudes. The figures provide a first estimation of the three dimensional electron density distributions around the globe.

The spatial plasma distribution is generated from actual TEC maps by applying a first version of the empirical electron density model NEDM-v1. In correspondence with the update rate of TEC maps the time resolution of the 3 D images is 5 minutes.

### Terms and Conditions of Use

In any case you plan to use IMPC material please consider the IMPC terms and conditions of use.

## Auswirkungen auf technische Systeme



Deutsches Zentrum  
 für Luft- und Raumfahrt  
 German Aerospace Center  
 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
 German Aerospace Center

Ionosphere Monitoring and Prediction Center  
 Kalkhorstweg 53  
 17235 Neustrelitz

[Contact](#)
[Imprint - Credits](#)
[Acceptable Use Policy and Conditions of Use](#)
[Data Protection Consent](#)

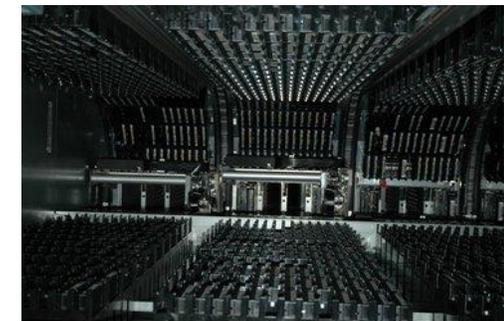
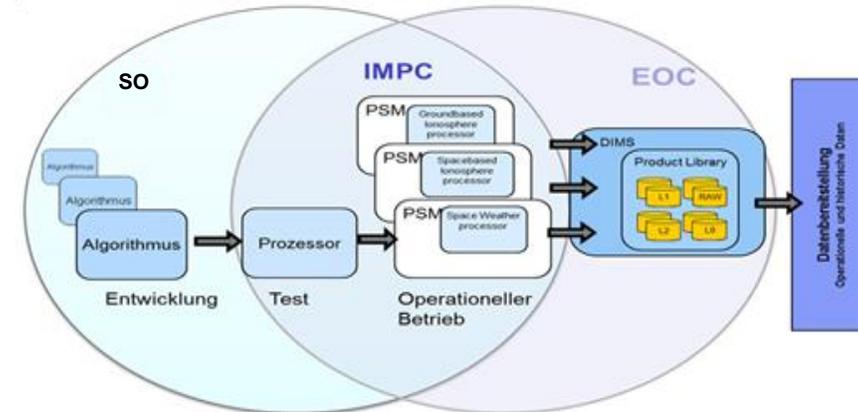
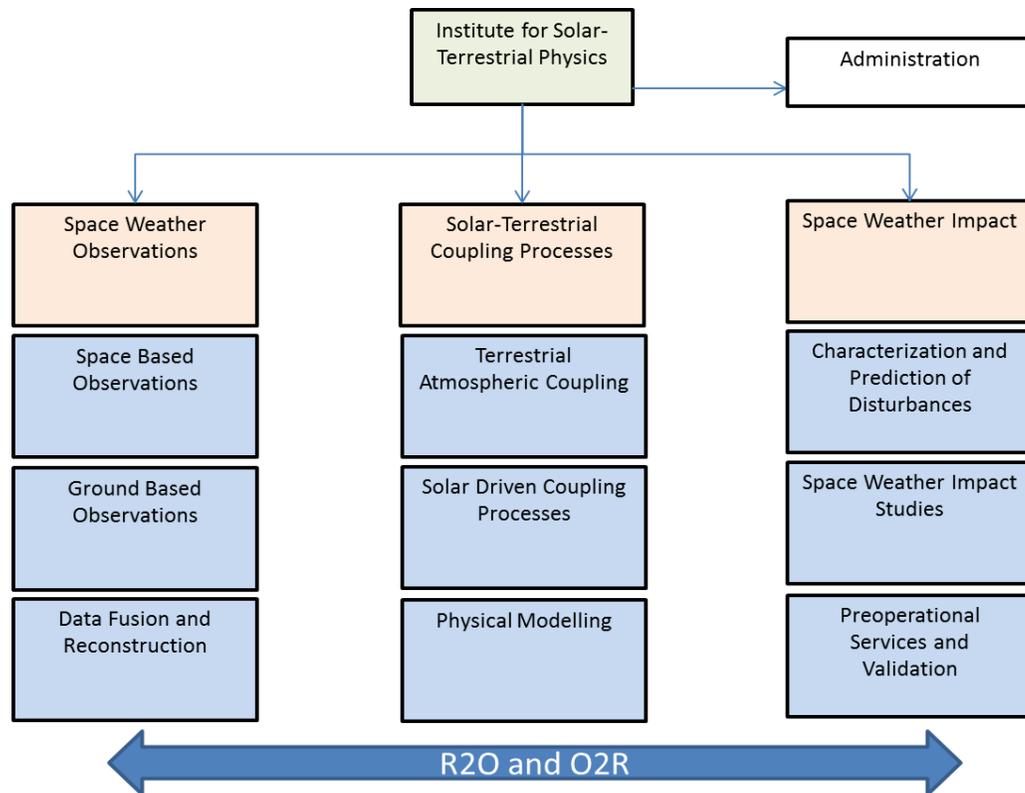
[Accessibility](#)
[Terms of Use](#)
[License Agreement](#)

# Entwicklung und Bereitstellung von Dienstleistungen



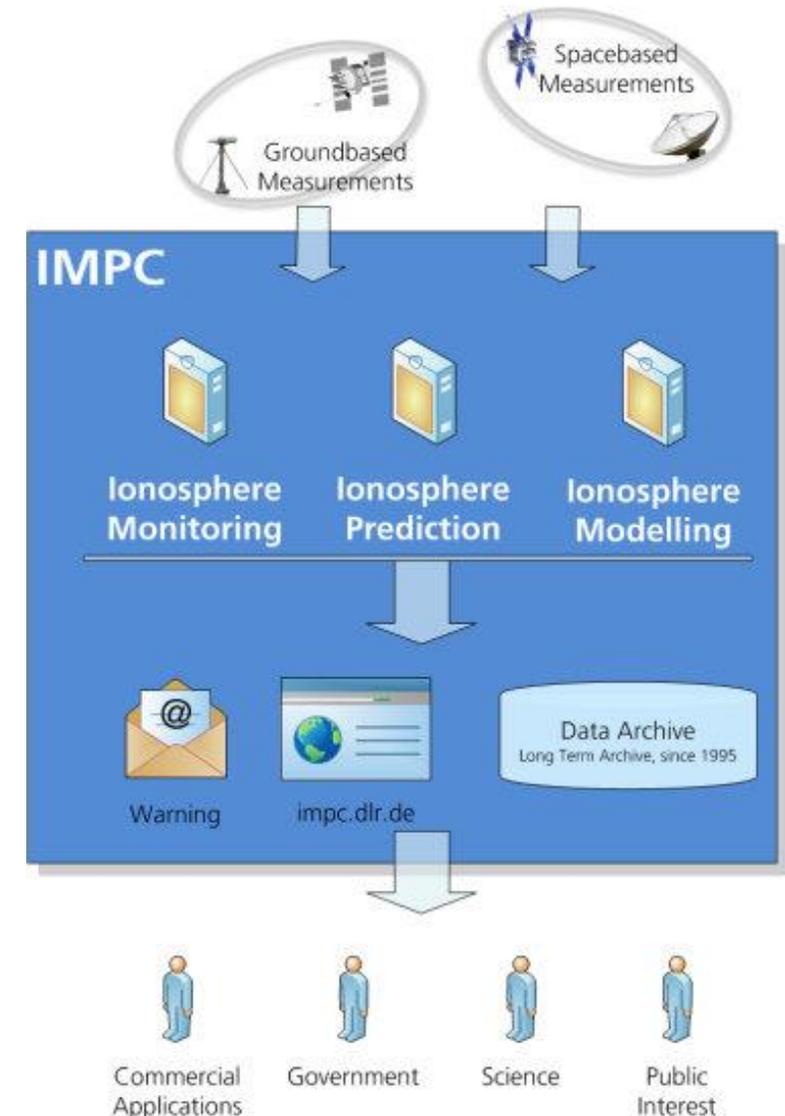
Das **Institut für solar-terrestrische Physik** des DLR widmet sich der missionsorientierten Forschung in ausgewählten Bereichen des Weltraumwetters. Das Spektrum reicht von den theoretischen Grundlagen bis zur Beobachtung, Modellierung und Analyse der Auswirkungen des Weltraumwetters auf technische Systeme, Dienstleistungen und Infrastruktur.

Die Erfassung, Verarbeitung und Archivierung von Daten aus Fernerkundungs- und Kleinsatelliten-Wissenschaftsmissionen erfolgt in der Abteilung Nationales Bodensegment des **Earth Observation Center (EOC)** in Neustrelitz. Diese Arbeiten werden im Rahmen des deutschen Raumfahrtprogramms, im Auftrag der ESA oder der Industrie oder in Kooperation mit internationalen Raumfahrtagenturen durchgeführt.



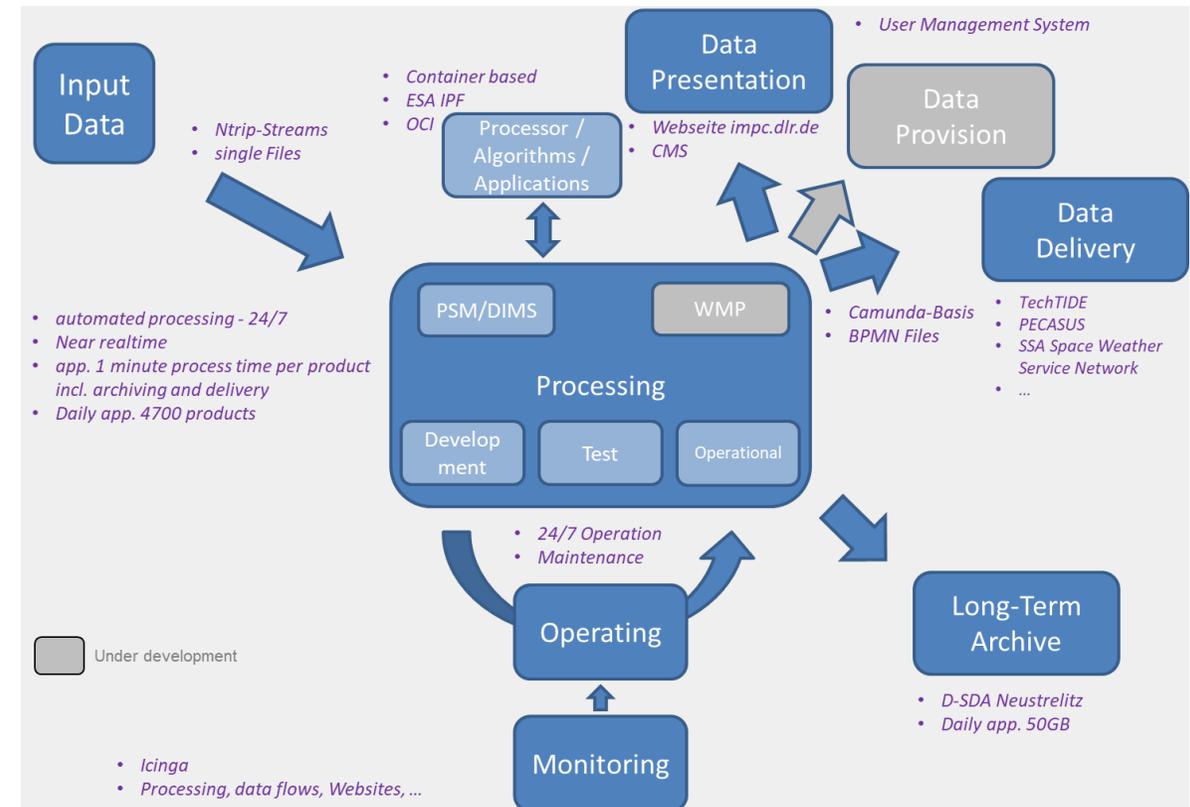
# Entwicklung und Bereitstellung von Dienstleistungen

- **Das Ionosphere Monitoring and Prediction Center (IMPC)** des DLR trägt dazu bei, die Auswirkungen der Ionosphäre auf die Technik zu mindern:
  - Überwachung der Ionosphäre in nahezu Echtzeit
  - Vorhersage der Bedingungen in der Ionosphäre
  - Modellierung der Ionosphäre
  - Warnmeldungen an die Nutzer
  - Datenbereitstellung
  - Bildung und Öffentlichkeitsarbeit
- Informationen über den Zustand der Ionosphäre können wesentlich dazu beitragen, sicherheitskritische Situationen (z. B. im Luftverkehr) oder hohe Kosten durch „erfolglose“ Kampagnen (z. B. bei der Erkundung von Offshore-Ressourcen oder bei der Präzisionsortung) zu vermeiden.

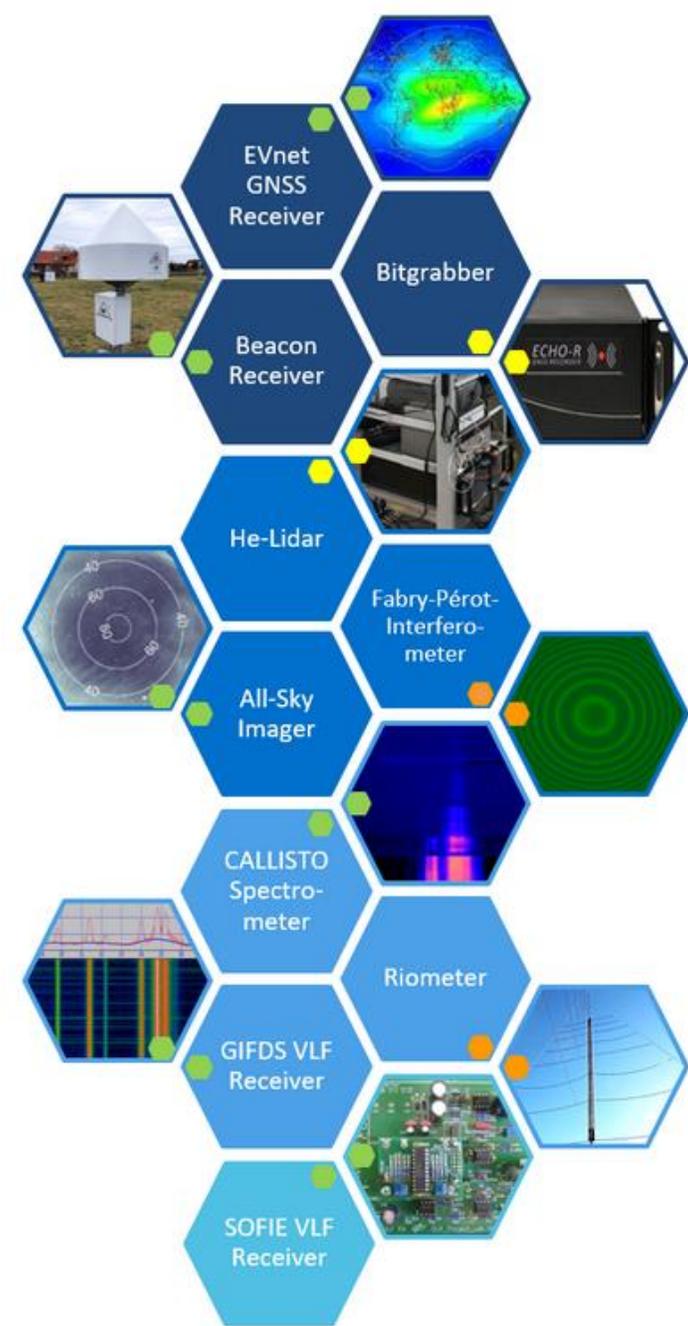


# IMPC als Plattform für operative Dienste im Bereich der Ionosphäre

- Das IMPC als Plattform für die automatisierte Verarbeitung ionosphärischer Produkte auf einer 24/7-Echtzeitbasis benötigt etwa 1 Minute Verarbeitungszeit pro Produkt, einschließlich Archivierungs- und Lieferzeiten.
- Täglich werden ca. 4700 Produkte erstellt.
- Die Plattform verwendet eine dreistufige Verarbeitungsumgebung von der Entwicklung über die Testzone bis hin zum Betrieb.
- Der operationelle Dienst wird durch das IMPC User Help Desk ( [impc-uhd@dlr.de](mailto:impc-uhd@dlr.de) ) für technische, funktionelle oder thematische Fragen und Anfragen von registrierten Nutzern, Projektpartnern oder allen am Ionosphärenwetter interessierten Personen begleitet. Außerdem wird er von einem automatischen System überwacht.



# Beobachtungsinfrastruktur, Produkte and Dienste

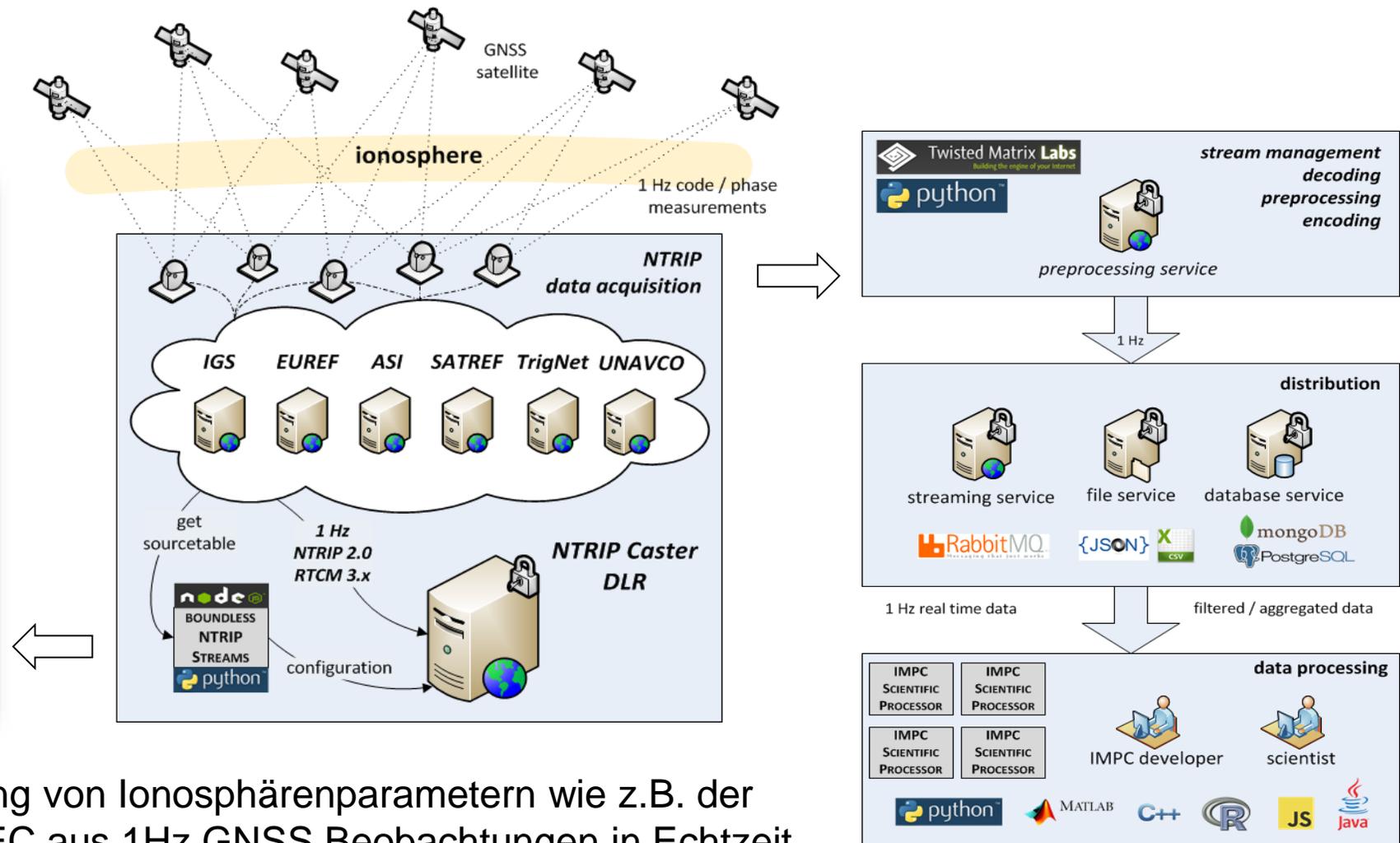
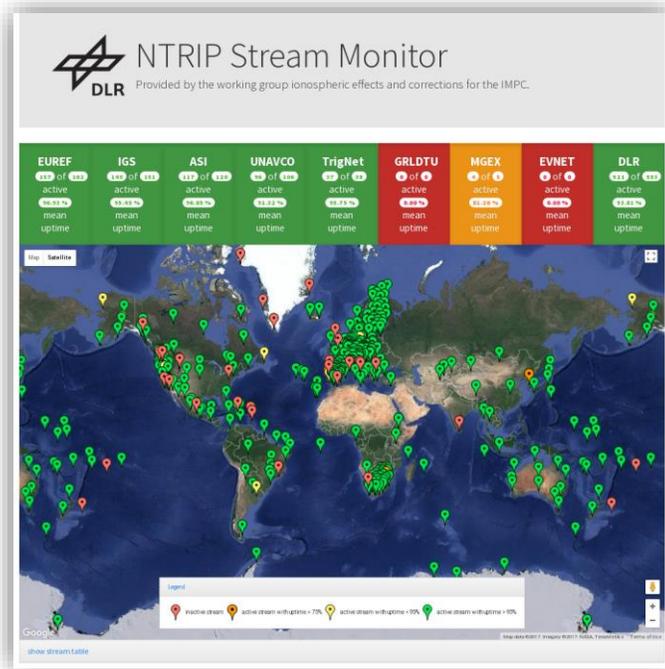


Operational

Underdevelopment

Planned

# Echtzeit GNSS-Datenprozessierung



- Kontinuierliche Überwachung von Ionosphärenparametern wie z.B. der Gesamtelektronendichte TEC aus 1Hz GNSS Beobachtungen in Echtzeit

# TEC Karten Prozessierung

- Datenbank: ~ 350 globale 1Hz GNSS-Empfänger in Echtzeit
- Prozessierung der TEC-Karten alle 5 Minuten mit einer Latenz von 2 Minuten auf der Grundlage des empirischen NTCM-Ionosphärenmodells (Europa, weltweit)
- Schätzung von NTCM-Koeffizienten, Satelliten- und Empfängerfehlern durch Anwendung einer gewichteten multiplen linearen Regression (WLS) aller GNSS-Daten der letzten 24 Stunden
- Datenformate: HDF5, JSON
- abgeleitete Produkte:
  - TEC-Rate
  - TEC-Gradienten
  - TEC-Median
  - TEC-Vorhersage (1 bis 3h)



## Near Real-Time TEC Maps, Global

DLR's global TEC maps provide information about vertical TEC (VTEC) derived from groundbased GNSS measurements with a latency of not more than 5 minutes and an update rate of 15 minutes. The maps have a global coverage with 2.5° in latitudes and 5° in longitude spatial resolution.

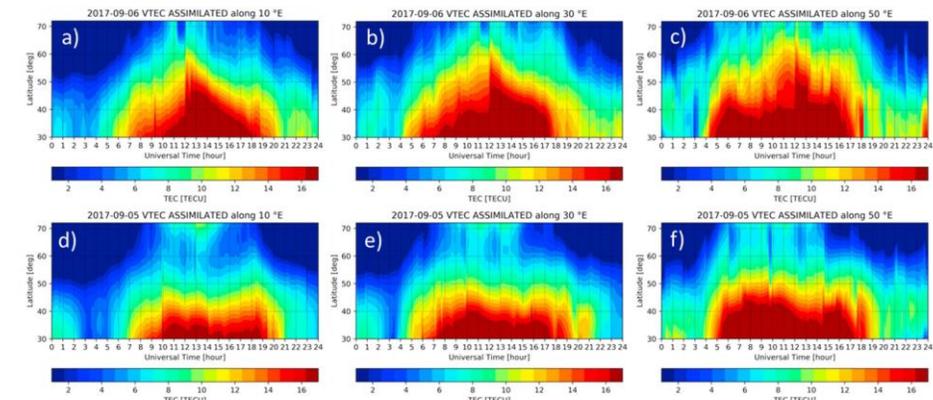
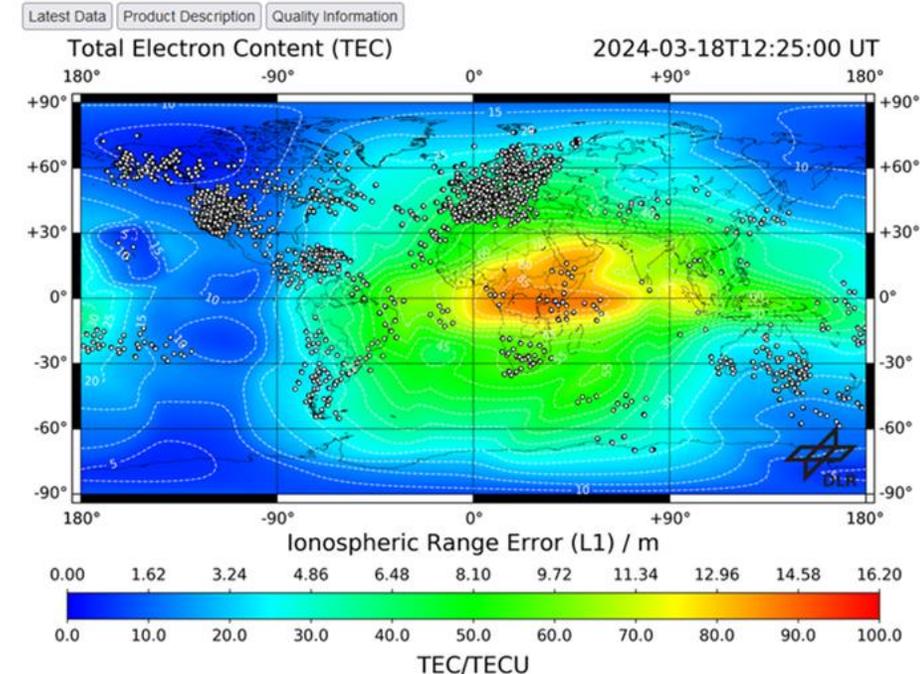


Figure 5. Ionospheric response over Europe to the X9.3 flare on 6 September 2017. The assimilated TEC values in the latitude band from 30° till 70°N for the longitudes 10, 30, and 50°E over the course of the day are shown in the top panels (a)–(c). In the bottom row the same plots of the previous day are given for comparison (d)–(f). TEC = Total Electron Content; VTEC = vertical TEC; TECU = TEC unit, 1 TECU = 10<sup>16</sup> electrons per square meter.

# Prozessierung des Rate of TEC index (ROTI)

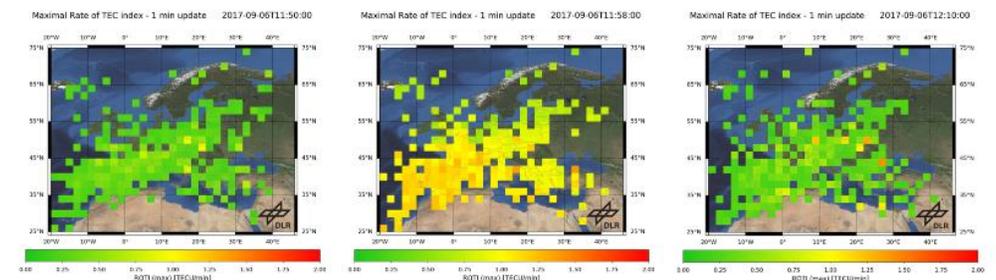
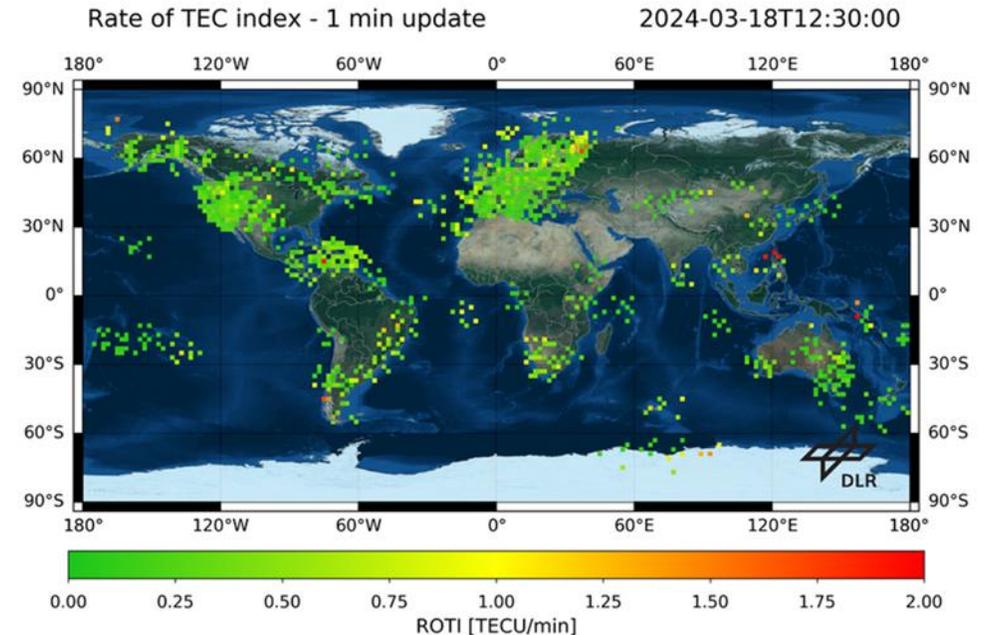
- Überwachung kleinräumiger ionosphärischer Störungen durch die minütliche Berechnung der Variation der linkbasierten Elektronendichtenrate pro GNSS-Empfänger
- Datenbank: ~ 350 globale 1Hz GNSS-Empfänger in Echtzeit
- Bereitstellung der ROTI-Karten nahezu in Echtzeit (jede Minute mit einer Latenzzeit von 1 Minute)
- Datenformate: HDF5, JSON
- abgeleitete Produkte:
  - ROTI mean,
  - ROTI max



## One minute mean ROTI, Global

Mean ROTI is presented for the preceding minute on a global map.

[Latest Data](#) [Product Description](#)



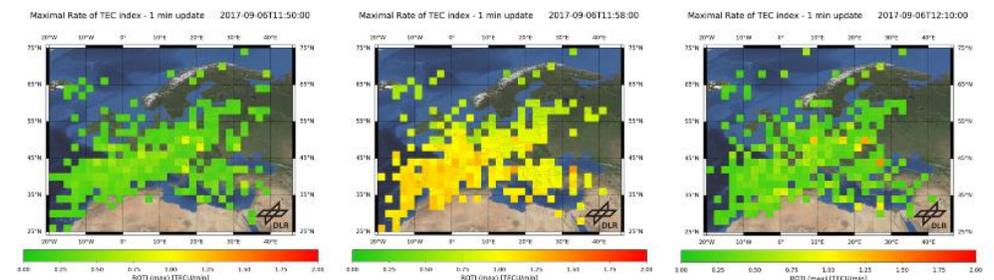
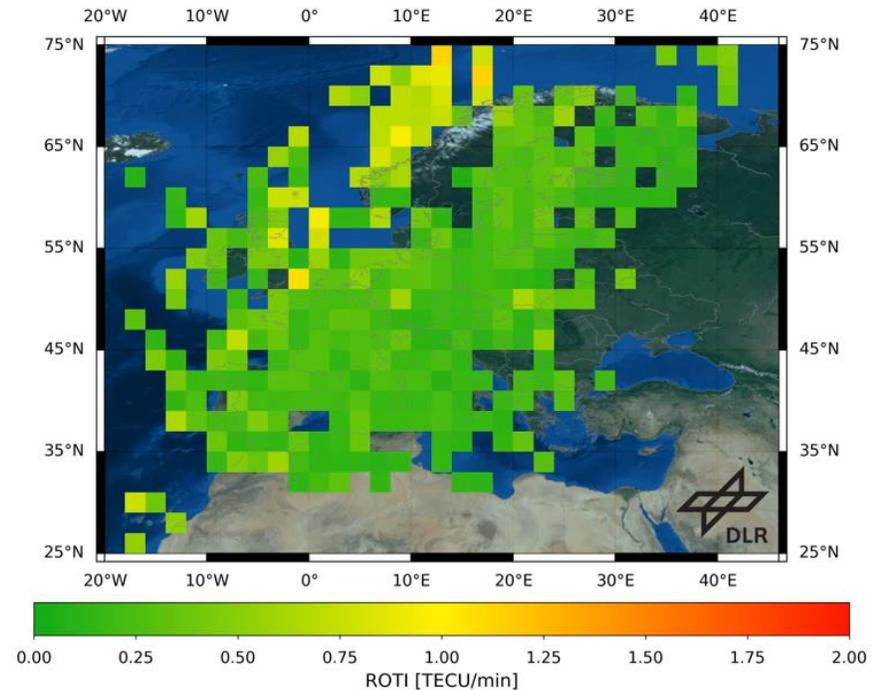
ROTI am 6. September 2017

# Prozessierung des Rate of TEC index (ROTI)

- Überwachung kleinräumiger ionosphärischer Störungen durch die minütliche Berechnung der Variation der linkbasierten Elektronendichtenrate pro GNSS-Empfänger
- Datenbank: ~ 350 globale 1Hz GNSS-Empfänger in Echtzeit
- Bereitstellung der ROTI-Karten nahezu in Echtzeit (jede Minute mit einer Latenzzeit von 1 Minute)
- Datenformate: HDF5, JSON
- abgeleitete Produkte:
  - ROTI mean,
  - ROTI max



Rate of TEC index - 1 min update 2024-05-10T15:00:00



ROTI am 6. September 2017

## GALILEO HELP DESK

OUR EXPERTS WILL PROVIDE ANSWERS TO YOUR QUESTIONS, INCIDENTS AND PRODUCTS REQUESTS



## GALILEO SYSTEM STATUS

CLICK FOR SATELLITE INFORMATION AND NOTIFICATIONS



Home > Good performance, less computation: A new ionospheric model for the Galileo Open Service

# Good performance, less computation: A new ionospheric model for the Galileo Open Service

A new ionospheric model (NTCM G), which can be used to correct single-frequency Galileo signals for ionospheric delay, is now available on the European GNSS Service Centre (GSC) website.

The model provides good performance to single-frequency Galileo users, whilst requiring less computing resources than the reference Nequick G model. It does not replace Nequick G, but offers an alternative for certain use cases where computational load is a driver.

The NTCM G model was developed by the German Aerospace Centre (DLR) and validated by the Joint Research Centre (JRC) of the European Commission, with the support of the European Space Agency (ESA). The description of the source code and its implementation were carried out jointly between DLR and JRC, with the European Union Agency for the Space Programme (EUSPA) supporting the review and the publication of the model description.

Radio signals used in GNSS applications have to pass through the ionosphere on their way to Earth. When propagating through this medium, their speed (and to a lesser extent, their direction) may be altered through refraction and diffraction, inducing position errors at user level. This propagation delay can be compensated for by dual-frequency receivers, but single-frequency users need to apply a correction model in order to get an accurate fix. The Nequick G code was published in 2014 in order to offer single-frequency Galileo users a solution for precisely estimating and correcting the ionospheric delay. However, this model is computationally intensive and may constitute a challenge for receivers used in some applications.

In this context, the German Aerospace Centre (DLR) developed the Neustrelitz Total Electron Content Model for Galileo (NTCM G), an empirical model that provides a practical and cost-effective solution for the determination of the global ionosphere total electron content. A complete definition of the model is explained in the published document.

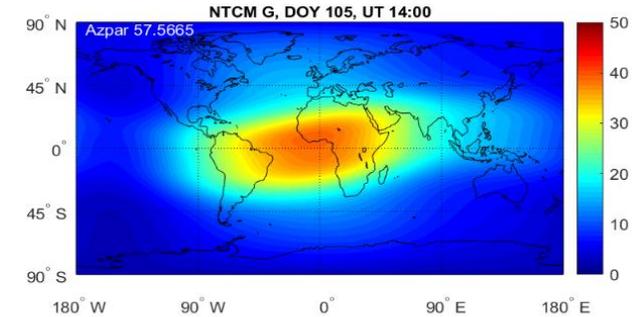
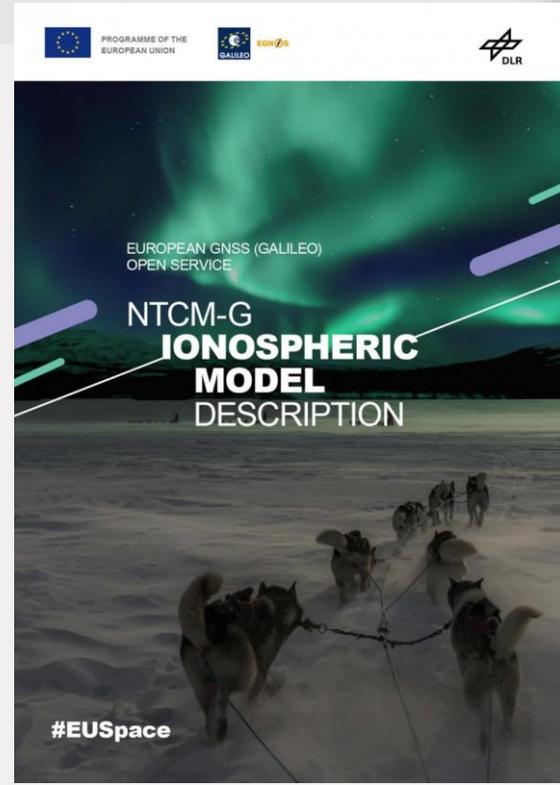


Figure 1. Example of a global VTEC map (in TECU) obtained with NTCM G

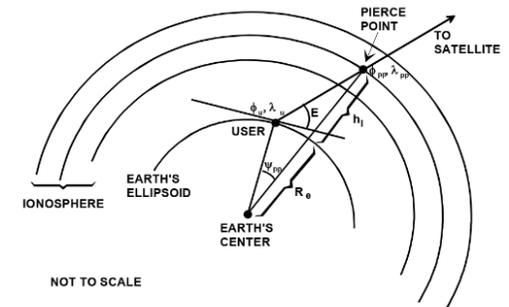


Figure 2. Ionospheric pierce point geometry (reprinted from RTCA MOPS DO-229 [3])

# EVnet: Experimentation and Verification Network

IMPC betreibt ein eigenes GNSS-Empfängernetz mit hoher Frequenz (20-100 Hz) für Szintillationsmessungen von hohen Breitengraden bis hinunter in äquatoriale Regionen.

## Hardware

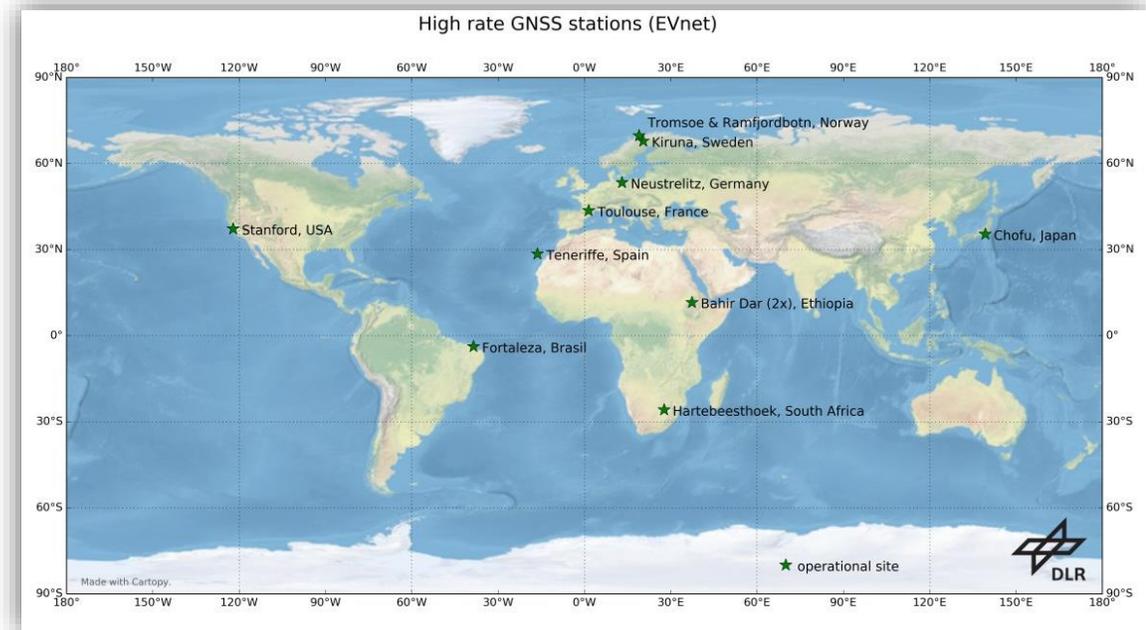
- Laptop (Linux/KVM-basierte Einrichtung)
- Javad Delta 3 (20 / 50 / 100 Hz)
- Temex 10 MHz Rubidium-Oszillator
- Choke Ring Antenne (Leica AR25)
- USV, Rack, Netzwerk-Switches ...

## Software

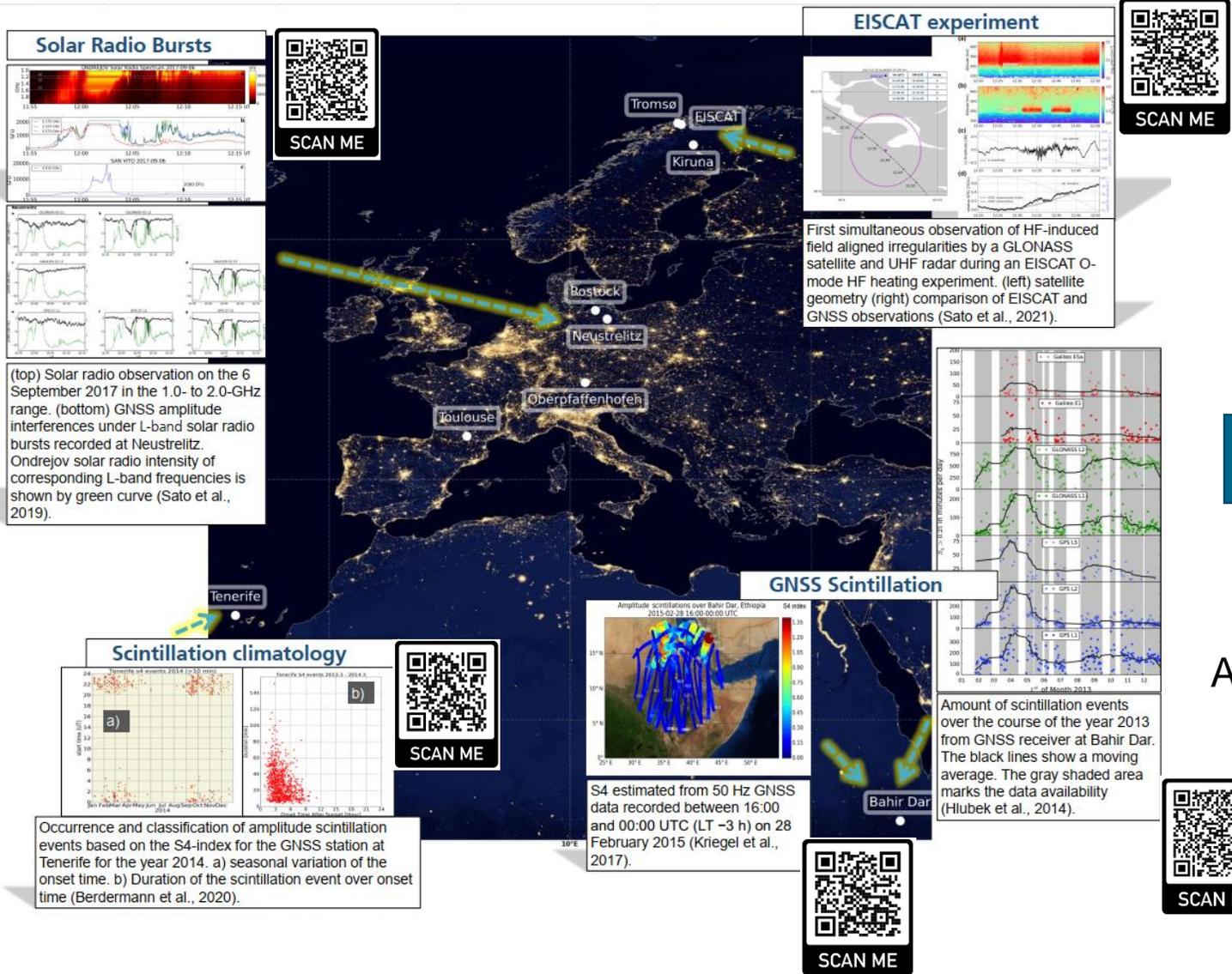
- Scientific Linux / C++/ Python

## Daten

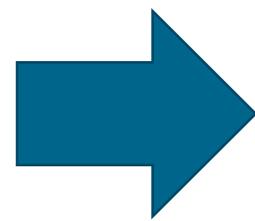
- Szintillationindizes ( $S_4$ ,  $\sigma_{\phi}$ )
- Hochratige Multifrequenz-GNSS-Messungen (GPS, GLONASS, Galileo, Beidou, SBAS)



# EVnet: Experimentation and Verification Network

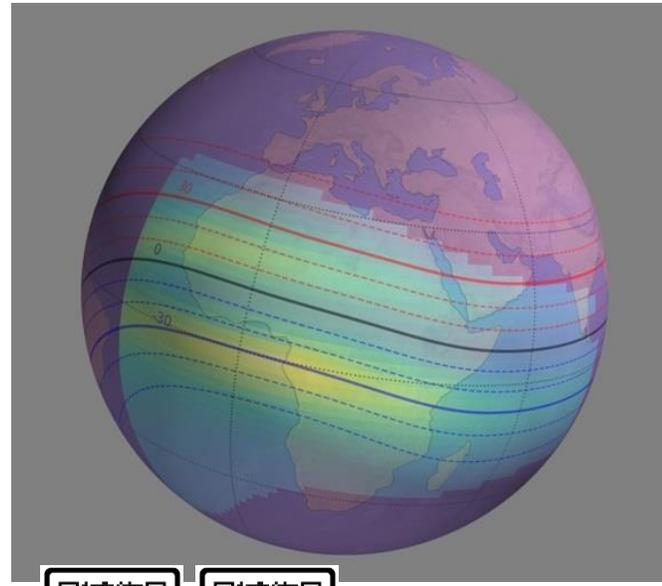


Modellierung



Daten-Assimilation

## Global Ionospheric Scintillation Model (GISM)



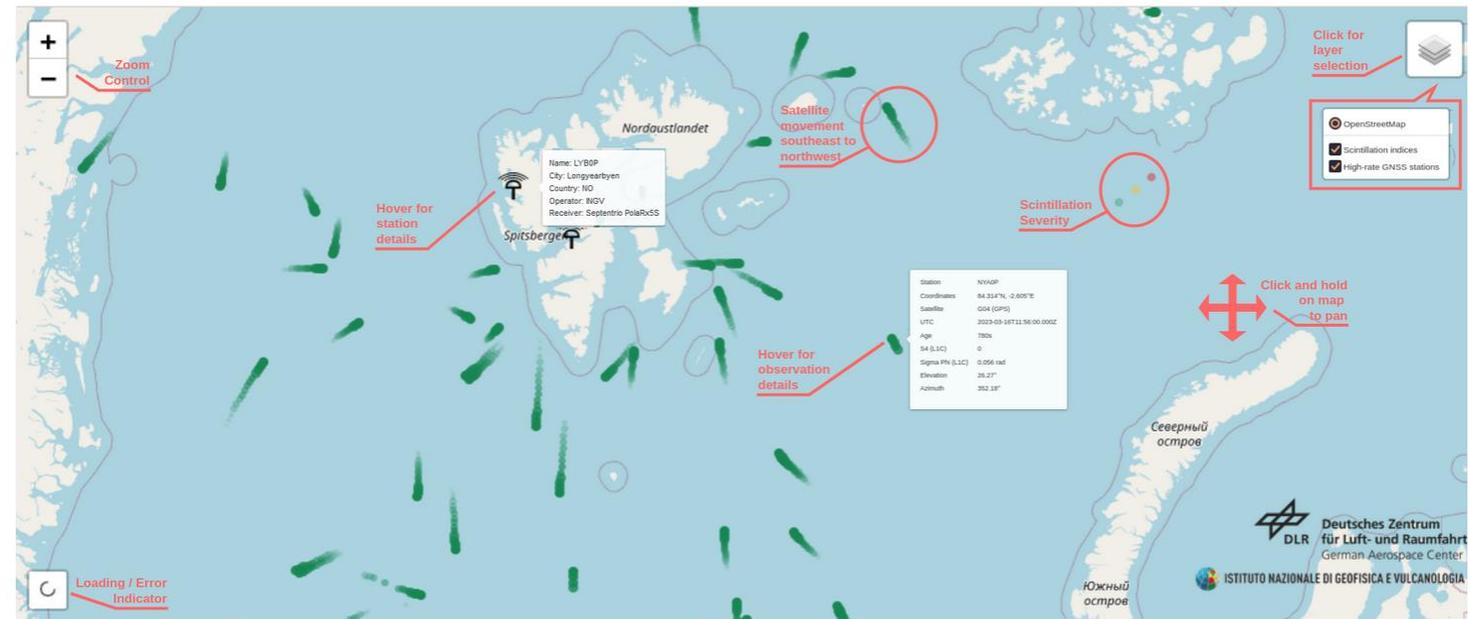
D. Vasylyev et al., *JSWSC*, **12**, 22 (2022)  
 A. Ferreira et al., *IEEE Access*, **10**, 65744 (2022)

# Global Scintillation Indices

- Interaktive GUI für den Zugriff auf Szintillationsindizes
- Web Feature Service (WFS) basierte API unterstützt Filterung nach
  - GNSS-Satelliten und Empfängern
  - Szintillationindizes (S4 and Sigma Phi)
  - spatial coverage (e.g. Bounding Box)
  - Datum und Zeit
  - Geometrie des Satellitenlinks (Elevation, Azimuth)
- API unterstützt Rendering von GeoJSON, CSV, GML

## Interactive geographic map

The service uses the leaflet library to display the data on a map, allowing users to visualize the location and intensity of scintillation events in real-time. The leaflet library provides various features such as zooming, panning, and the ability to visualise scintillation indices including their properties. Users can also switch between different map layers to view different types of data such as background map, GNSS receivers, or scintillation indices.



Geographic map showing the high-rate GNSS stations operated by DLR and INGV.

The scintillation measurements are plotted in the map according to the following classification scheme which basically follows the First Edition of the Manual on Space Weather in Support of International Air Navigation which has been published in response to the introduction of provisions related to the dissemination of information on space weather to international air navigation as part of Amendment 78 to Annex 3 – Meteorological Service for International Air Navigation, applicable 8 November 2018.

Activity level	Classifier	Interpretation	Color
Quiet	(S4 < 0.5) or ( $\sigma\phi$ < 0.4)	No scintillation to weak scintillation intensity.	#198754
Moderate	(S4 >= 0.5) or ( $\sigma\phi$ >= 0.4)	Moderate scintillation intensity.	#ffc107
Severe	(S4 >= 0.8) or ( $\sigma\phi$ >= 0.7)	Strong scintillation intensity.	#dc3545

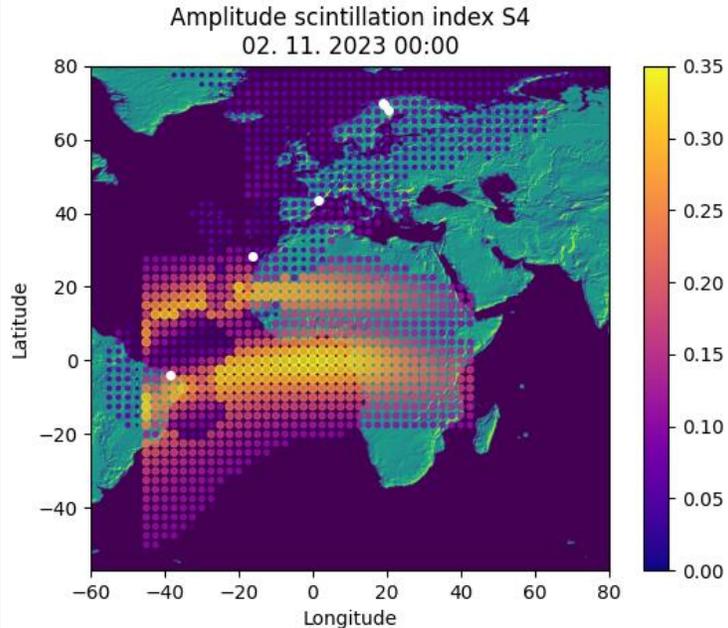
Classification of scintillation indices.



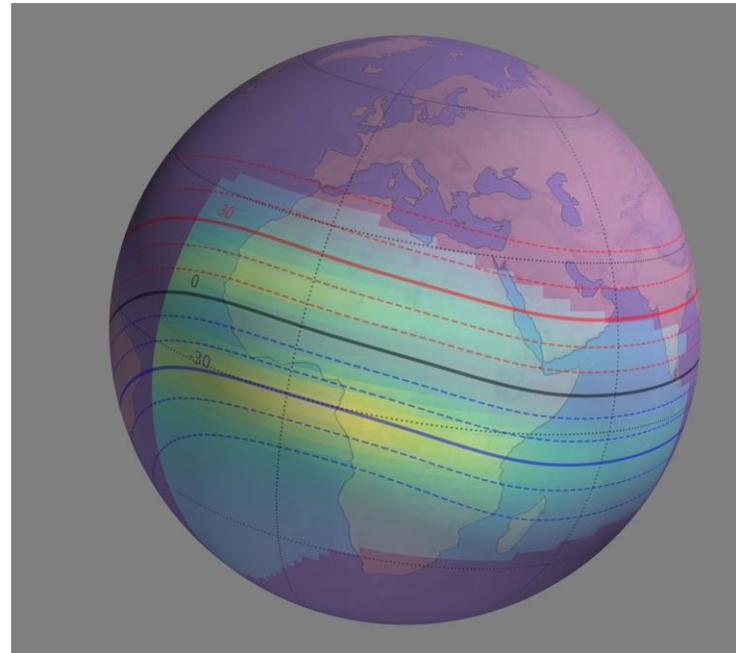
SCAN ME

# Global Ionospheric Scintillation Model (GISM)

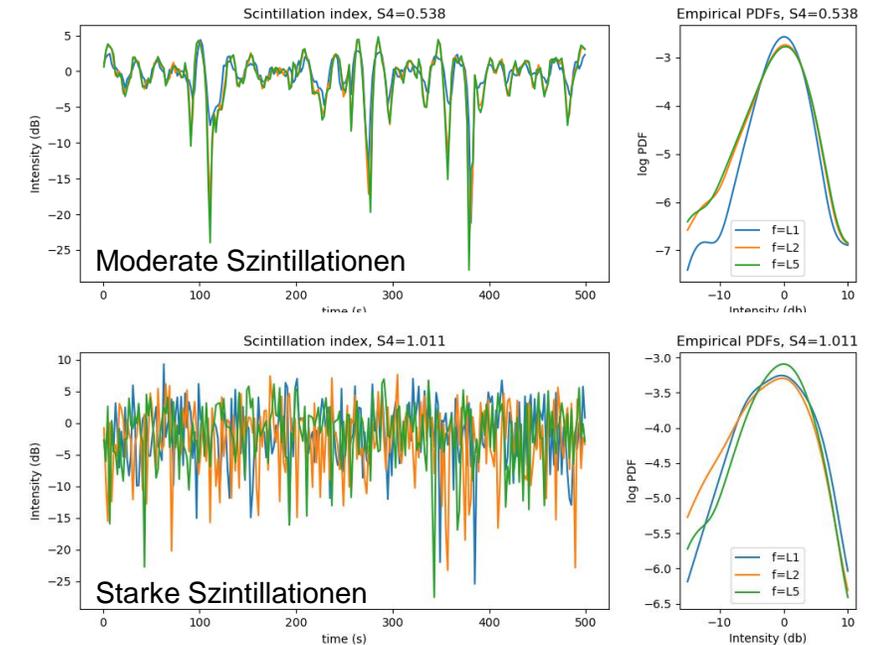
Datengestützte Simulation:



Simulierte äquatoriale Szintillationswerte:



Beispiele für synthetische Zeitreihen:



- Numerische Simulation
- Mehrere Phasenbildschirme (1D und 2D)
- NeQuick- oder NEDM-Modelle der umgebenden Ionosphären
- Refraktionelle Strahlenbeugung wird berücksichtigt
- Synthetische Szintillationszeitreihen-Simulation

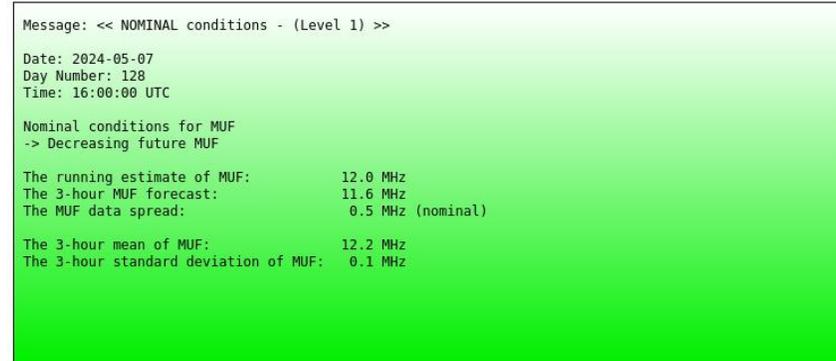
# Maximal Nutzbare Frequenz für Skip-Distanzen von 750 km (MUF750)



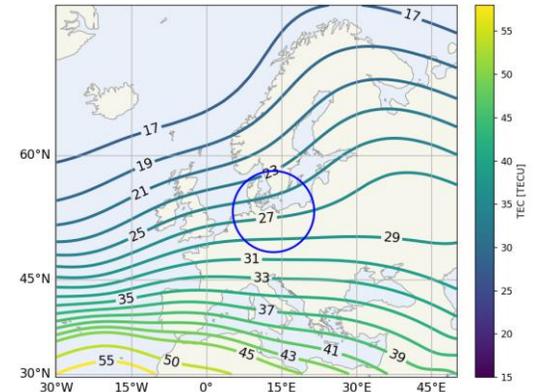
- Das Produkt bietet die regionale maximal nutzbare Frequenz (MUF) für eine Sprungweite von 750 km einschließlich statistischer Werte und einer Vorhersage für 1-3 Stunden.

- Die Abdeckung umfasst einen horizontalen Bereich mit einem Radius von 400-500 km von der Sendestation in Juliusruh.

## Current Alarm State

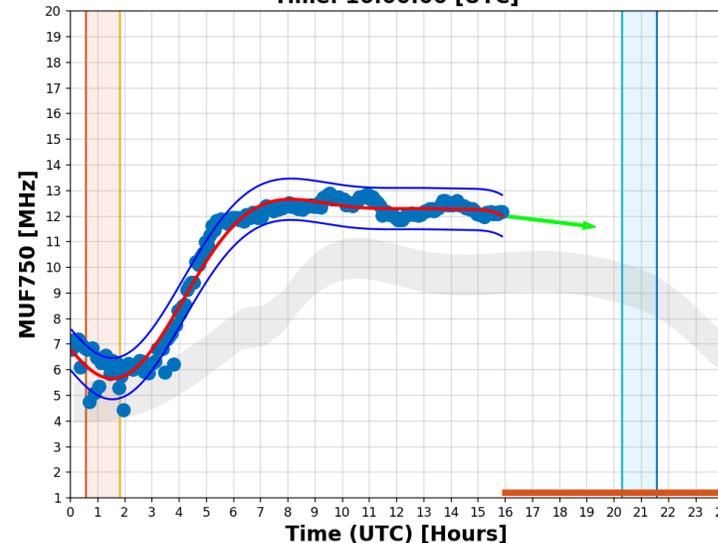


**Total Electron Content (TEC)**  
 Date: 2024-05-07 Day Number: 128  
 Time: 15:55:00 [UTC] Sampling Time: 270 [sec]



## Ionosphere Maximum Usable Frequency (MUF750)

Date: 2024-05-07 Day Number 128  
 Time: 16:00:00 [UTC]



## Additional Information

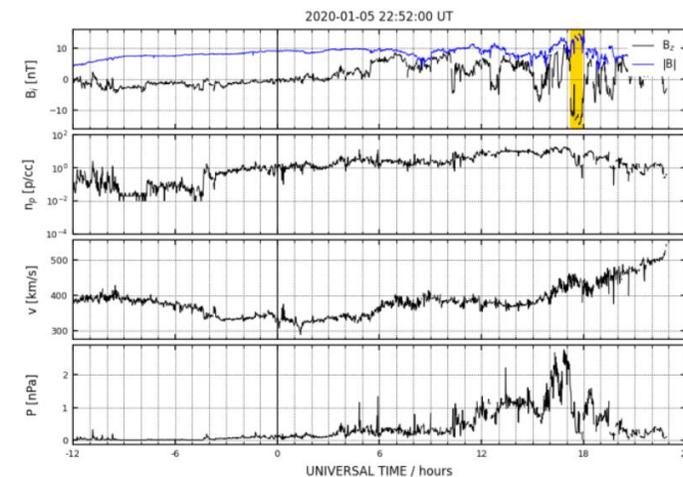
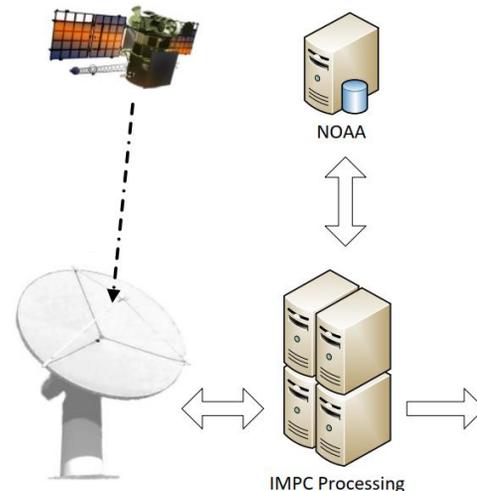
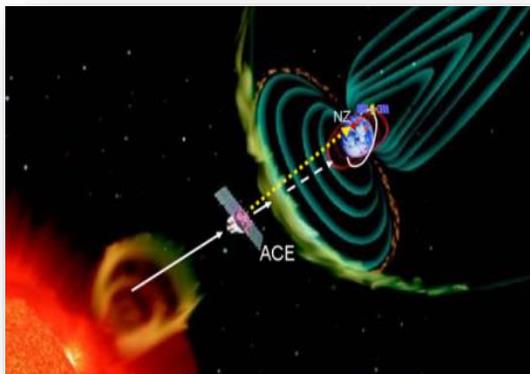
Date: 2024-05-07	Day Number: 128	Time: 16:00:00 UTC	
Latency [ T(now) - T(latest-data-product) ]	Days	Hours	Minutes
MUF product plot	0	0	6
TEC product plot	0	0	5
Date: 2024-05-07	Day Number: 128		
Sunrise	Sunset	Height	
00:34 UTC	21:34 UTC	250.0 km (F-layer)	
01:50 UTC	20:17 UTC	100.0 km (E-layer)	
Date: 2024-05-06	Day Number: 127		
MUFmean24h: 8.8 MHz	MUFmedian24h: 9.7 MHz		



SCAN ME

# Empfang und Überwachung von Solarwinddaten

- Sonnenwindinformationen sind essentiell bei der Bewertung und Vorhersage von Sonnenstürmen und deren Auswirkungen auf die Erde
- Das DLR ist das einzige europäische Mitglied des Real Time Solar Wind (RTSW) Beobachtungsnetzwerks und beteiligt sich an der Datenübertragung und Analyse der Daten des Advanced Composition Explorer (ACE) und des Deep Space Climate Observatory (DSCOVR) der NASA
- Im Rahmen des IMPC werden die empfangenen Sonnenwinddaten in Echtzeit analysiert, um Weltraumwetterwarnungen und -vorhersagen zu erstellen.



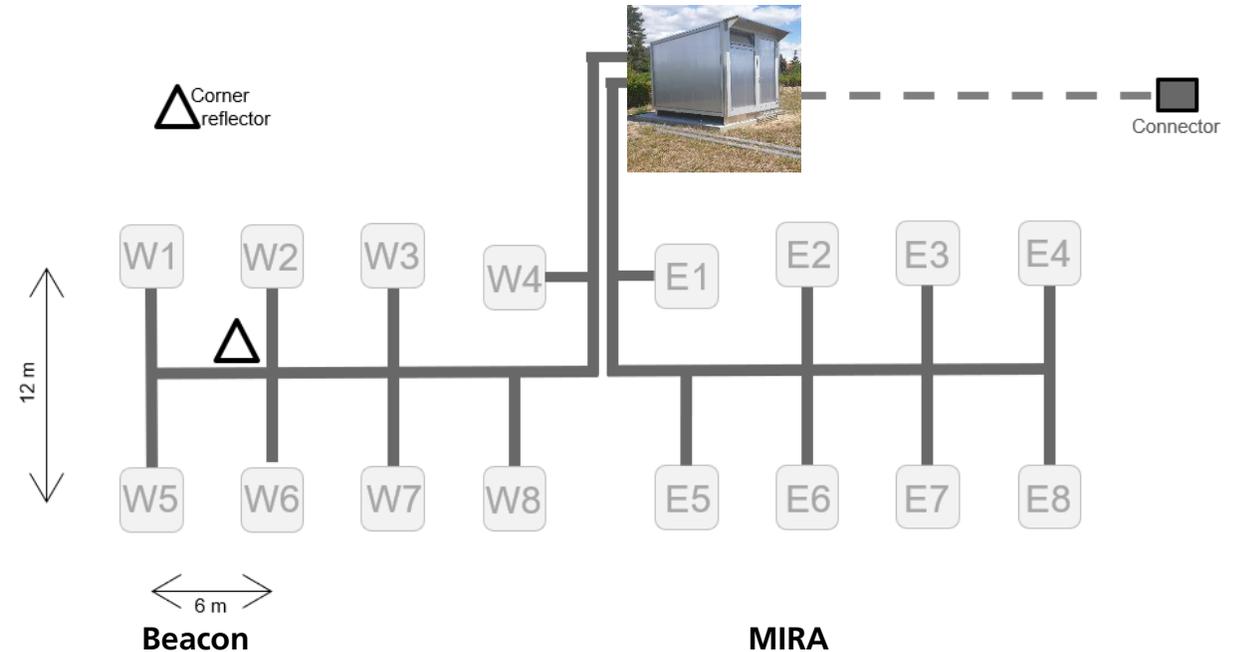
# MIRA Multi-Instrument Ionospheric Radio Array



- Mess- und Testfeld für verschiedene passive Instrumente (10 kHz - 2 GHz)
- 16 Antennenplattformen
- Vor-Export-Verifizierung von Weltraumwetterinstrumenten und Langzeitmessungen verschiedener ionosphärischer und solarer Störungen

## Instrumente

- GNSS Empfänger + Bitgrabber
- Beacon Empfänger
- GIFDS VLF Empfänger
- CALLISTO Solar Spektrometer (HF/VHF-, VHF/UHF-, L-Band)



CALLISTO HF/VHF



CALLISTO VHF/UHF



CALLISTO L-Band



GIFDS



GNSS



Beacon



MIRA



# GIFDS Global Ionospheric Flare Detection System

## Ziele

- Echtzeiterkennung von **SIDs verursacht durch solare X-ray Flares** durch ein bodengestütztes VLF System
- Integration der Echtzeitdaten und Flare Warnungen in das IMPC

## Messungen

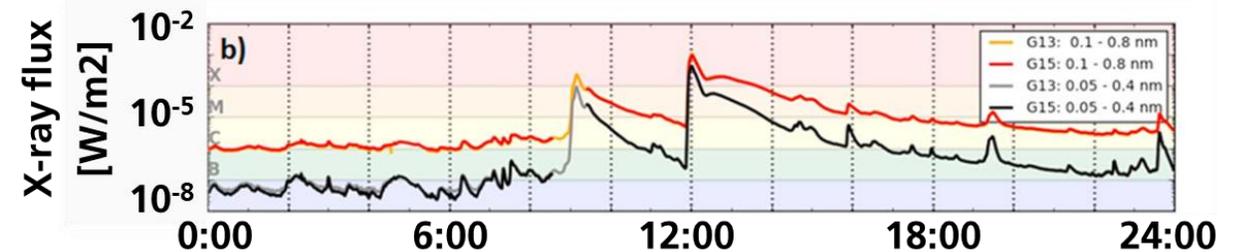
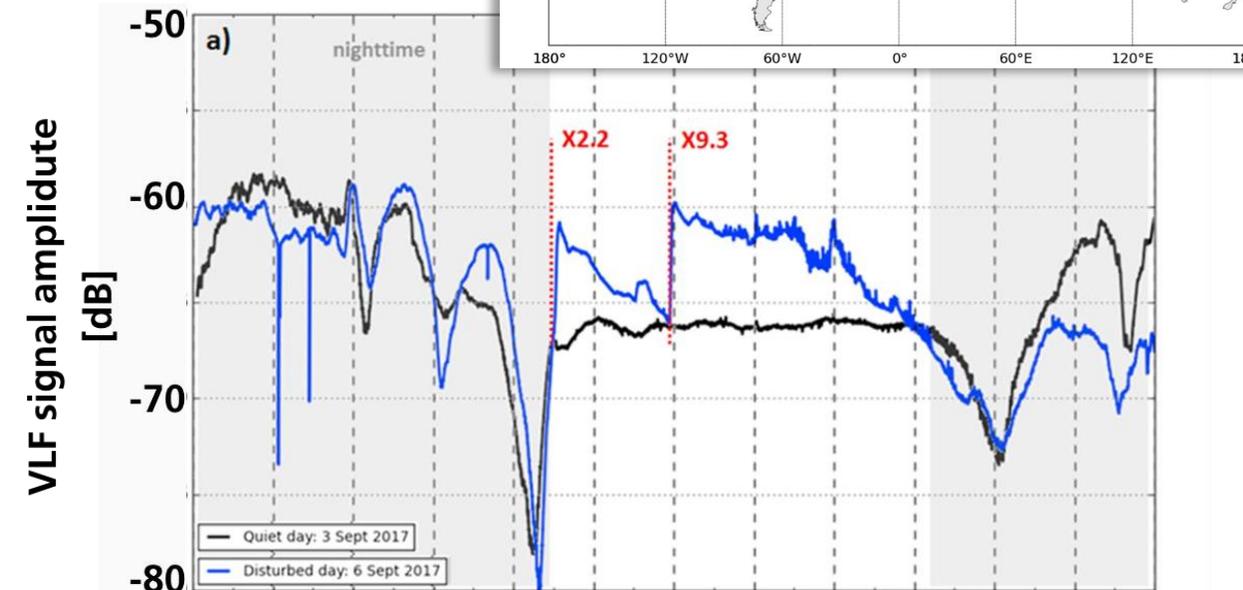
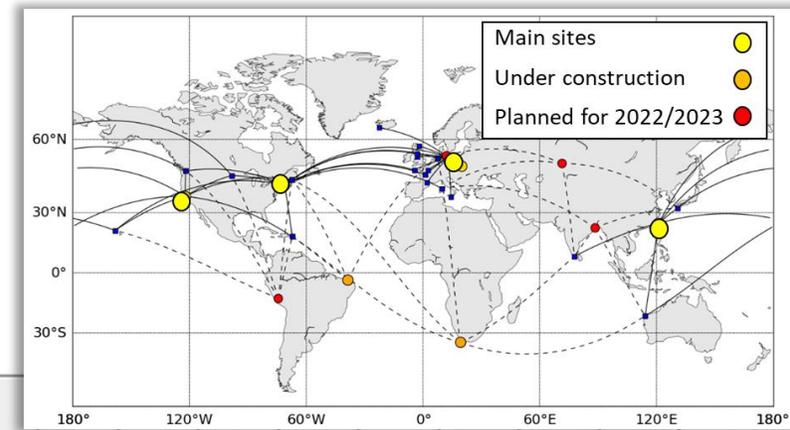
- 10 Hz Amplituden- und Phasenmessungen verschiedener VLF-Sender des E-Feldes

### E-Feld Antenne



## Spezifikationen

- Antenne: Mini-Whip-Antenne in einer Höhe von 3m Höhe
- Spektrum: 0 – 1.7 MHz



Solar Flares am 6. September 2017

# CALLISTO Compound Astronomical Low frequency Low cost Instrument for Spectroscopy and Transportable Observatory



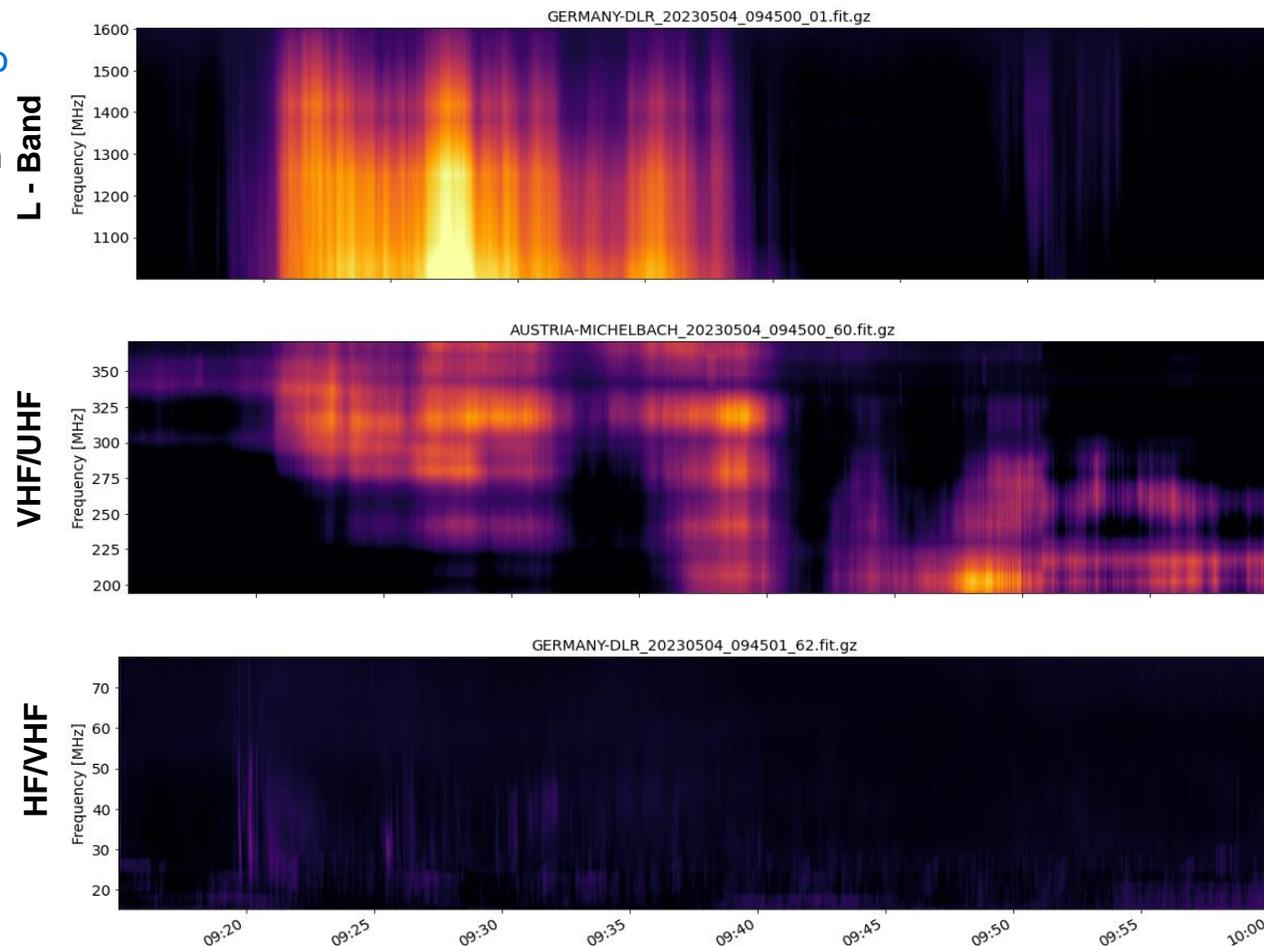
## Ziele

- Überwachung von [Hochfrequenzstörungen](#) und [Solar Radio Bursts](#)
- Erweiterung des [e-Callisto Netzwerks](#) in Zusammenarbeit mit ISWI

## Messungen

- **L-Band spectrum:** 1 – 1.6 GHz  
LPDA-Antenne von 1m Länge in 1,5m Höhe installiert
- **VHF/UHF spectrum:** 100 – 800 MHz  
LPDA-Antenne von 2m Länge / 3m Breite installiert in 3m Höhe
- **HF/VHF spectrum:** 20 – 80 MHz  
LWA/DMA Antenne von 2 m Höhe

## Radio bursts am 4. Mai 2023



CALLISTO L-Band



CALLISTO VHF/UHF

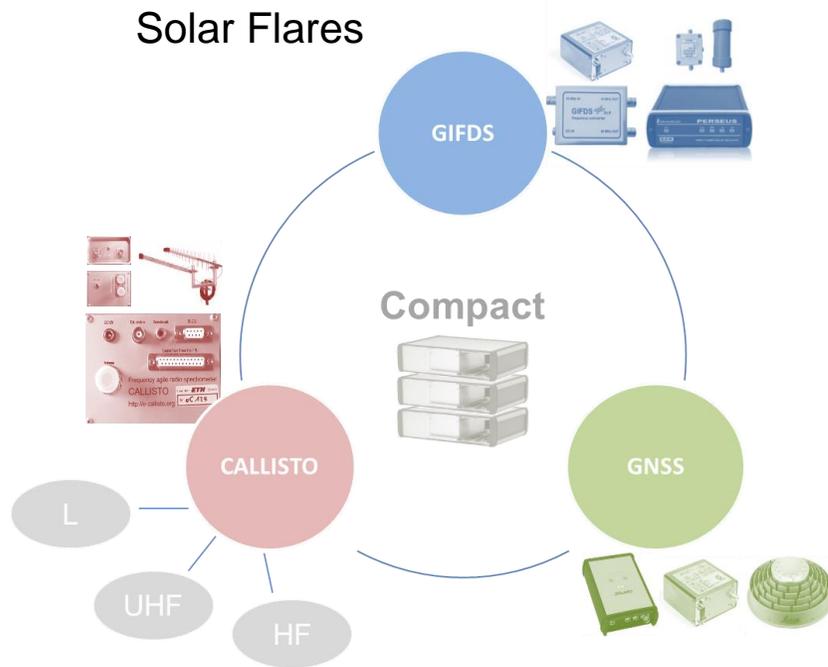


CALLISTO HF/VHF

# Kontinuierliche Weiterentwicklung der globalen Messinfrastruktur für die Weltraumwetterbeobachtung und -bewertung am DLR-SO

**SIGN** (Solar-Ionospheric Global Network)

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

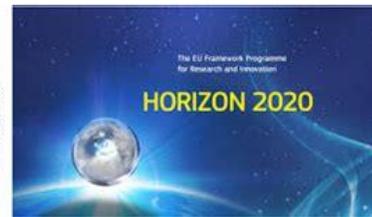


*Kombiniertes GIFDS- und CALLISTO-System im Einsatz beim DLR Neustrelitz.*

Radio Bursts

Radio Bursts, Solar Flares,  
Solar Storm

# PITHIA-NRF DLR-SO Node



Integral access  
for researchers



PITHIA  
network

- observations
- methods
- computing
- training & assistance

- Ionosondes
- GNSS TEC measurements
- Interferometric imaging
- 3D imaging with RIOMeters
- Meteor radars
- Incoherent scatter radars
- VLF measurements
- Magnetometers
- HF continuous Doppler observations
- Research satellites

Not exhaustive!

The screenshot shows the PITHIA-NRF website interface. At the top, there is a navigation bar with links for Home, PITHIA-NRF Developers, PITHIA-NRF Users, Activities & Results, Events, News, and Wiki. A search bar is located in the top right corner. Below the navigation bar, the main content area features a map of Europe with several location markers. A tooltip for the 'Node: DLR-SO' is displayed over the German region, providing details: 'Area of Access: Radiation impact in the ionosphere and plasmasphere and mitigation of the effects', 'Operator: DLR, Neustrelitz, Germany', and a 'More info' link. To the right of the map, there are sections for 'Upcoming Events' and 'News'. The 'Upcoming Events' section lists 'PITHIA-NRF 22th EBM' (Jul 04, 2023) and 'PITHIA-NRF Fifth Training for Partners Workshop' (Sep 12, 2023). The 'News' section lists 'Open Vacancy at INGV' (Feb 21, 2023) and 'PITHIA-NRF Second Innovation Day' (Jan 30, 2023). A footer at the bottom contains links for Privacy Policy, Terms of Use, and Contact, along with social media icons for Twitter, LinkedIn, YouTube, and a QR code.

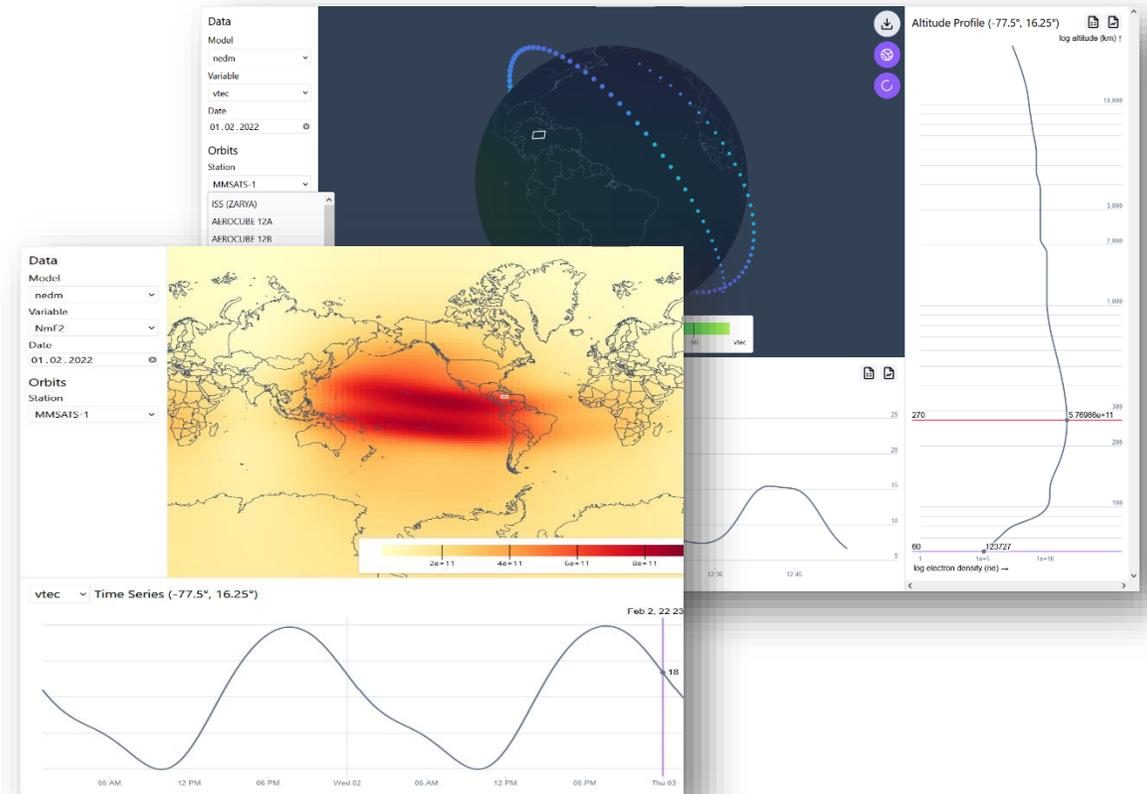


Watch for open TNA calls

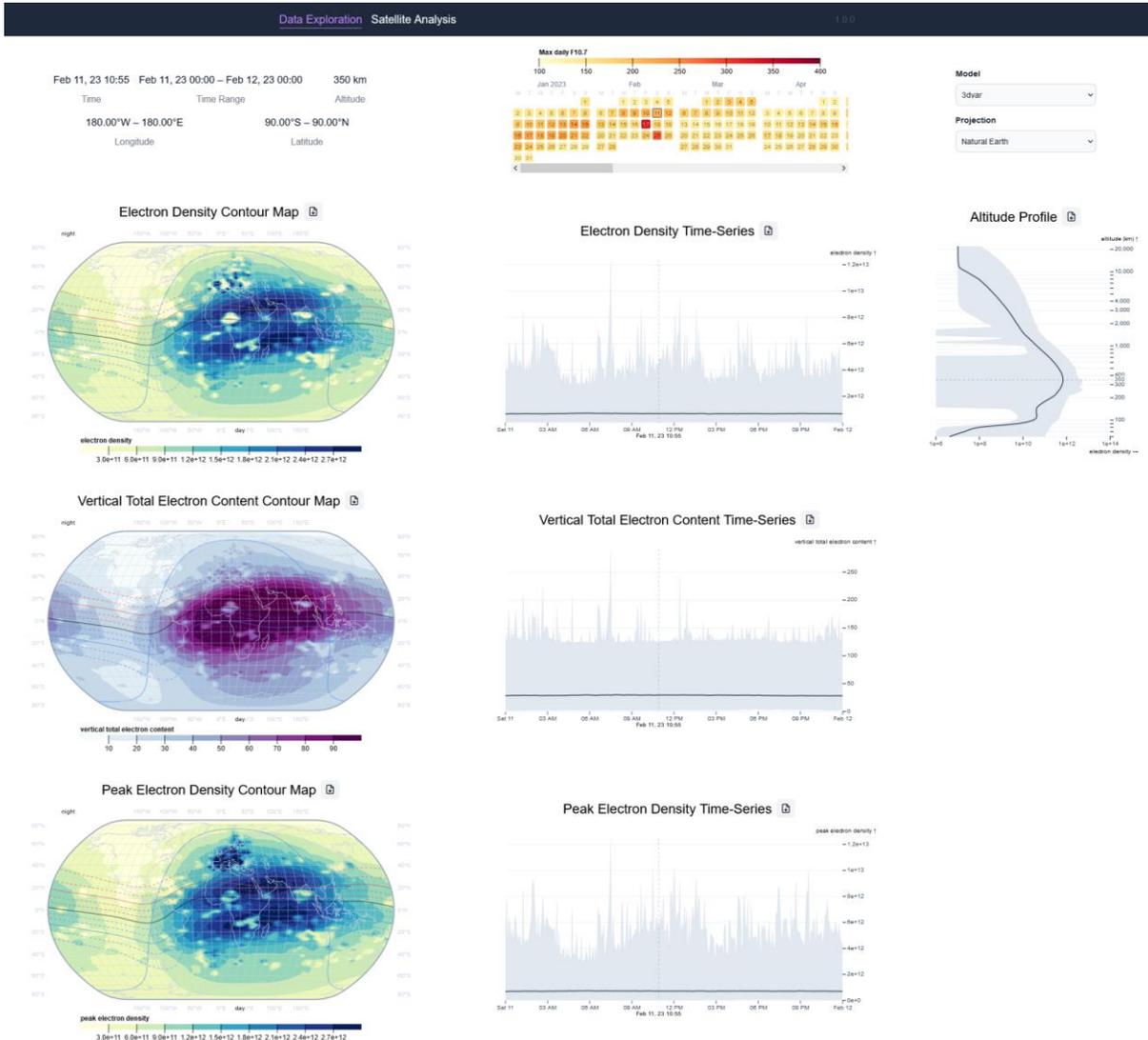
# Methoden der Digitalisierung zur datengetriebenen Untersuchung von solar-terrestrischen Effekten (MEDUSE)



- Datenmanagement für 4D (3x räumlich, 1x zeitlich) Modellausgangsdaten
- Effizienter Datenzugriff über einheitliches Datenmodell ("Data Cube") sowie einheitliche Schnittstellen
- Interaktive, webbasierte Datenexploration (Antwortzeiten immer unter 0,5 s, egal wie groß die Daten sind)
- Unterschiedliche Datenvisualisierungen je nach Nutzerbedarf (Zeitreihen, Heatmaps, Aggregation)
- Unterstützung von Fachexperten durch visuelles Debugging von Daten/Modellen



# Methoden der Digitalisierung zur datengetriebenen Untersuchung von solar-terrestrischen Effekten (MEDUSE)



Search

- JOURNALS
- TOPICS
- BOOKS
- OTHER PUBLICATIONS
- POLICIES

## Space Weather®

Research Article | Open Access | © ⓘ

### The Four-Dimensional Variational Neustrelitz Electron Density Assimilation Model: NEDAM

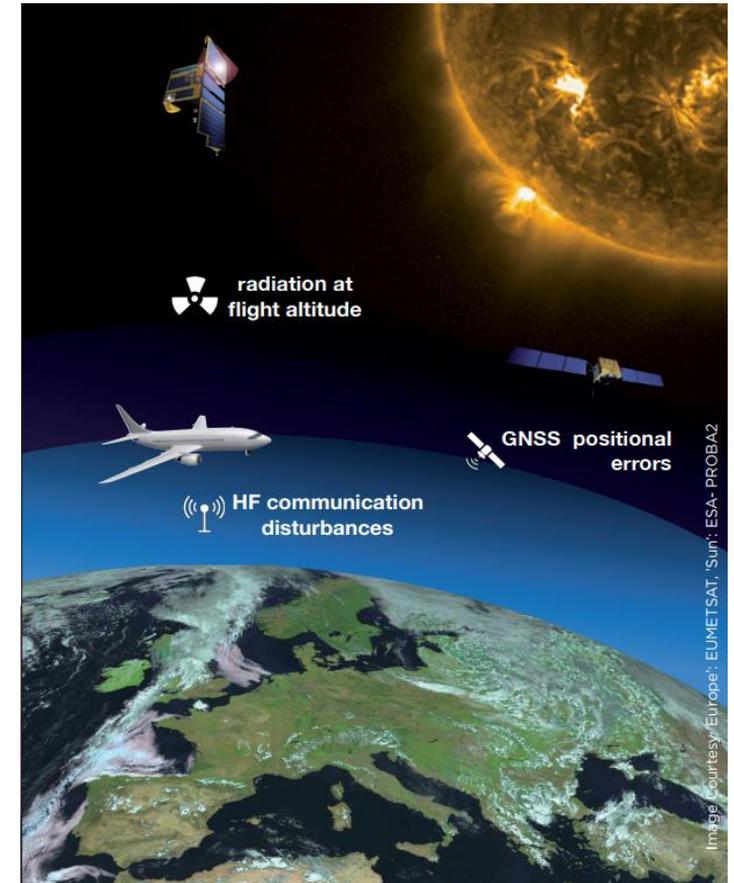
L. Yuan ✉ M. M. Hoque Timothy Kodikara

First published: 26 June 2023 | <https://doi.org/10.1029/2022SW003378> | Citations: 1

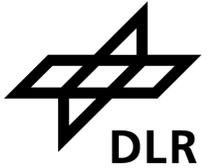


# PECASUS for ICAO

- Partnership for **Excellence in Civil Aviation Space Weather User Services** unter der Leitung des Finnischen Meteorologischen Instituts (FMI) berät Piloten für den Fall, dass Weltraumwetter (SWX) mäßige oder schwere Auswirkungen auf die Strahlung in der Flughöhe, die Satellitennavigation oder den Langstreckenfunk verursacht
- DLR-SO leitet den Bereich GNSS (DLR, INGV, SRC, STCE, FMI)
- Kontinuierliche Bereitstellung von Echtzeitprodukten zur Erstellung von Empfehlungen für die Luftfahrt bei Weltraumwetterereignissen (Schwellenwertüberschreitungen):
  - TEC Karten (inkl. TEC Gradienten, Rate, 1h bis 3h Vorhersage)
  - ROTI Karten
  - Szintillationsindizes



# PECASUS for ICAO



- Partnership for Excellence in Civil Aviation Space Weather User Services unter der Leitung des Finnischen Meteorologischen Instituts (FMI) berät Piloten für den Fall, dass Weltraumwetter (SWX) mäßige oder schwere Auswirkungen auf die Strahlung in der Flughöhe, die Satellitennavigation oder den Langstreckenfunk verursacht
- DLR-SO leitet den Bereich GNSS (DLR, INGV, SRC, STCE, FMI)
- Kontinuierliche Bereitstellung von Echtzeitprodukten zur Erstellung von Empfehlungen für die Luftfahrt bei Weltraumwetterereignissen (Schwellenwertüberschreitungen):
  - TEC Karten (inkl. TEC Gradienten, Rate, 1h bis 3h Vorhersage)
  - ROTI Karten
  - Szintillationsindizes

remote sensing

Review  
**Space Weather Services for Civil Aviation—Challenges and Solutions**

Kirsi Kauristie <sup>1,\*</sup>, Jesse Andries <sup>2</sup>, Peter Beck <sup>3</sup>, Jens Berdermann <sup>4</sup>, David Berghmans <sup>2</sup>, Claudio Cesarini <sup>5</sup>, Erwin De Donder <sup>2</sup>, Judith de Patoul <sup>2</sup>, Mark Dierckx <sup>2</sup>, Felco Doornbos <sup>6</sup>, Mark Gibbs <sup>7</sup>, Krista Hammond <sup>7</sup>, Haris Haralambous <sup>8</sup>, Ari-Matti Harri <sup>9</sup>, Edmund Henley <sup>7</sup>, Martin Krieger <sup>10</sup>, Tiera Laitinen <sup>1</sup>, Marcin Latocha <sup>11</sup>, Yana Maneva <sup>12</sup>, Loredana Perrone <sup>13</sup>, Emanuele Pica <sup>14</sup>, Luciano Rodriguez <sup>15</sup>, Vincenzo Romano <sup>16</sup>, Dario Sabbagh <sup>17</sup>, Luca Spogli <sup>18</sup>, Iwona Stanislawska <sup>19</sup>, Lukasz Tomasiak <sup>20</sup>, Mpho Tshisaphungo <sup>21</sup>, Kasper van Dam <sup>22</sup>, Bert van den Oord <sup>23</sup>, Petra Vanlommel <sup>24</sup>, Tobias Verhulst <sup>25</sup>, Volker Wilken <sup>26</sup>, Andriy Zalozovski <sup>27</sup> and Kari Osterberg <sup>1</sup>

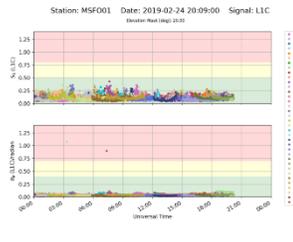
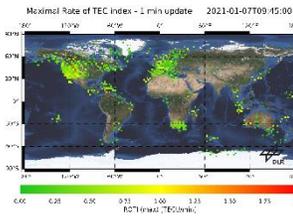
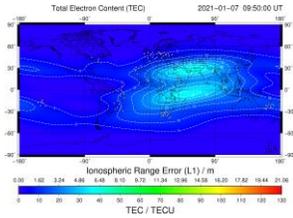
**Abstract:** This paper presents a review on the PECASUS service, which provides advisories on enhanced space weather activity for civil aviation. The advisories are tailored according to the Standards and Recommended Practices of the International Civil Aviation Organization (ICAO). Advisories are disseminated in three impact areas: radiation levels at flight altitudes, GNSS-based navigation and positioning, and HF communication. The review, which is based on the experiences of the authors from two years of running pilot ICAO services, describes empirical models behind PECASUS products and lists ground- and space-based sensors, providing inputs for the models and 24/7 manual monitoring activities. As a concrete example of PECASUS performance, its products for a post-storm ionospheric F2-layer depression event are analyzed in more detail. As PECASUS models are particularly tailored to describe F2-layer thinning, they reproduce observations more accurately than the International Reference Ionosphere model (IRI2016), but, on the other hand, it is recognized that the service performance is much affected by the coverage of its input data. Therefore, more efforts will be directed toward systematic measuring of the availability, timeliness and quality of the data provision in the next steps of the service development.

**Keywords:** space weather; aviation; radiation; global navigation satellite systems; HF communication

Remote Sens. 2021, 13, 3685. <https://doi.org/10.3390/rs13183685> <https://www.mdpi.com/journal/remotesensing>



# PECASUS for ICAO



Kontinuierliche NRT-Lieferungen von GNSS-bezogenen Weltraumwetterdaten und wissenschaftlicher Unterstützung im Falle von Weltraumwetterereignissen

ICAO Space Weather Advisories



**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	0.10	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 FL<460	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	0.00	QUIET		0.00	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.

Ilmatieteen laitos | ICAO Space Weather Advisories

Warnings

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

Warnings (current + 24h history)

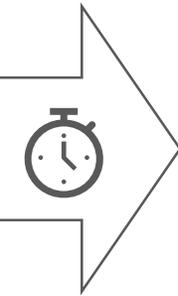
```

2021-01-05 10:20:00
FNXX01 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.
NEXT ADVISORY:   NO FURTHER ADVISORIES=
    
```

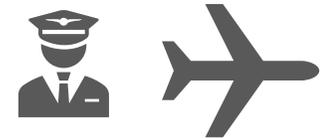
Finnish Meteorological Institute  
ilmailu@ilmatieteenlaitos.fi  
0600 9 3808 (2.53€/min)



GNSS basierte Fernerkundung der Ionosphäre



Datenanalyse, Ereigniserkennung, Entscheidungsfindung, Alarmierung



# ESA-S2P-SWE (ESC Ionospheric Weather)

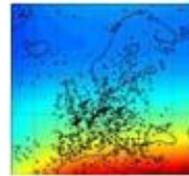


Das DLR koordiniert das Expert Service Center Ionospheric Weather (I-ESC) innerhalb des Weltraumwetter-Segments des ESA Space Safety Programme (S2P).

Das I-ESC liefert, implementiert und unterstützt die Produkte und Fähigkeiten des ESA SWE-Netzwerks für das Wetter in der Ionosphäre und der oberen Atmosphäre, einschließlich der Beobachtung, Überwachung, Interpretation, Modellierung und Vorhersage der Wetterbedingungen in der Ionosphäre und der oberen Atmosphäre.



## I-ESC Service Domains



[Transionospheric Radio Link](#)

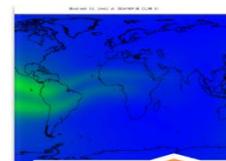


[Space Surveillance and Tracking](#)

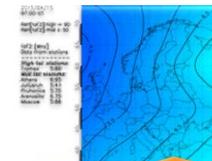


[Launch Operations](#)

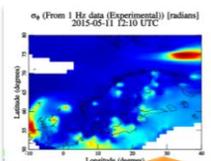
## I-ESC Products



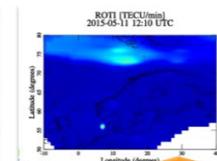
TEC maps



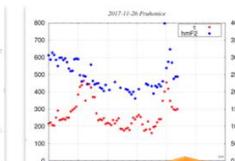
URSI parameters



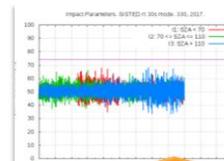
Scintillation



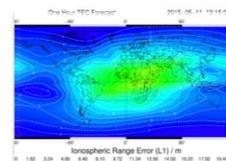
ROTI



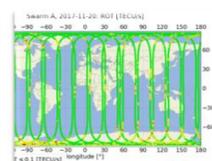
Slab Thickness



Flare detectors



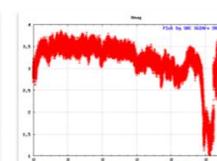
Forecasts



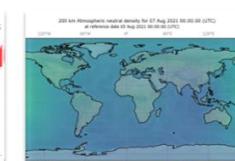
Swarm ionosphere parameters



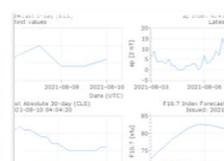
Alarms



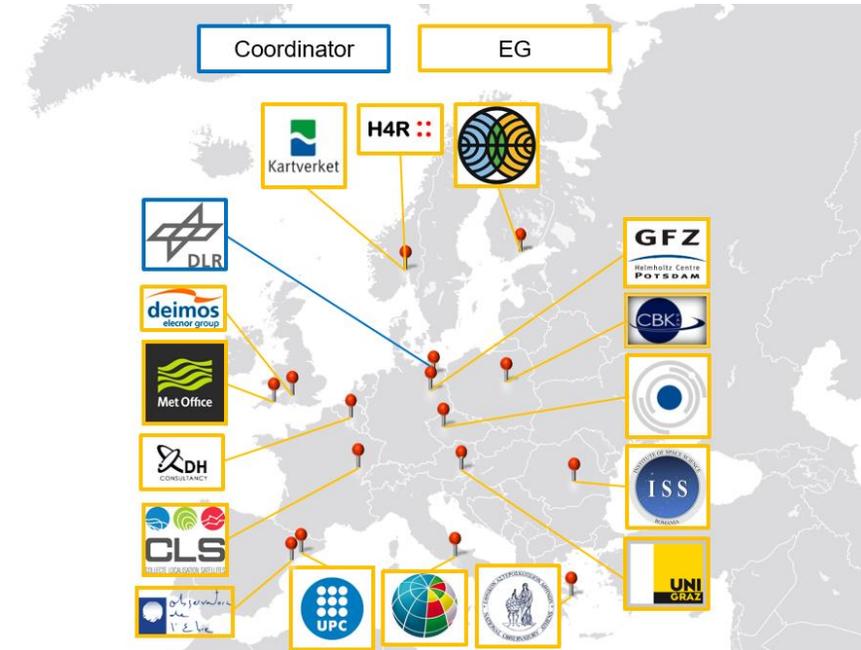
Archive of solar and geomagnetic indices



Neutral density



Forecast of solar and geom. indices

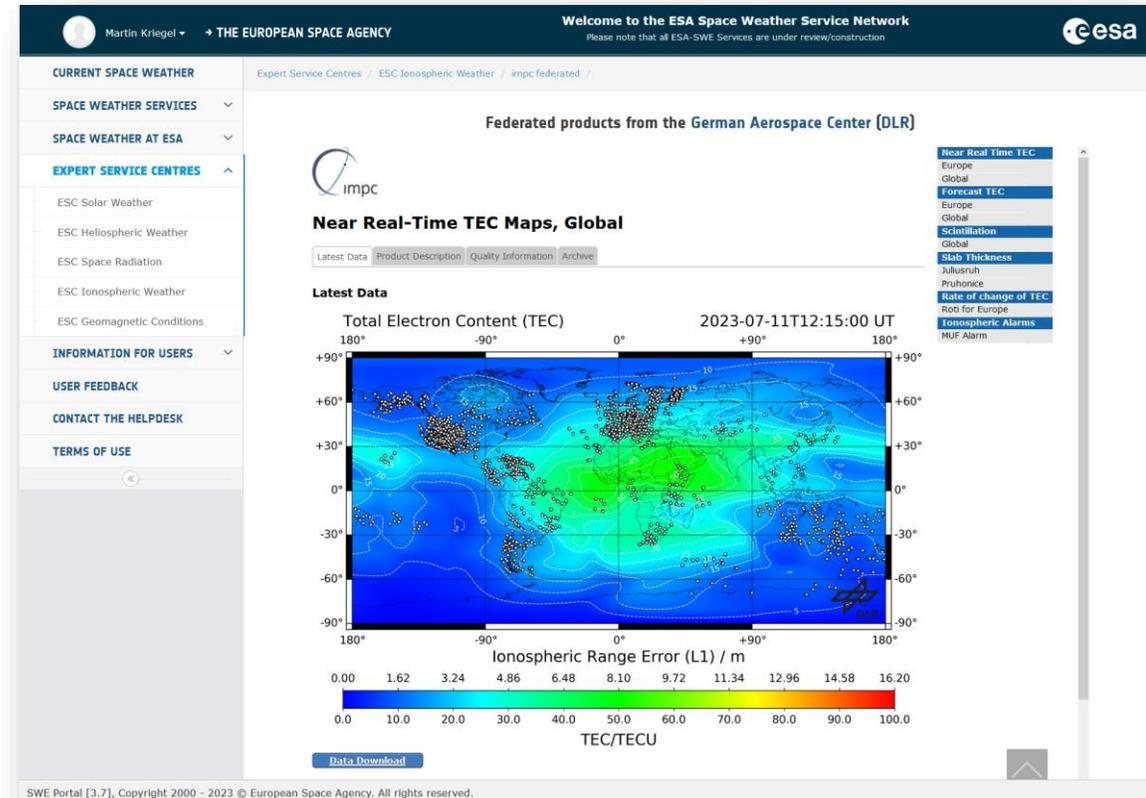


# ESA-S2P-SWE (ESC Ionospheric Weather)

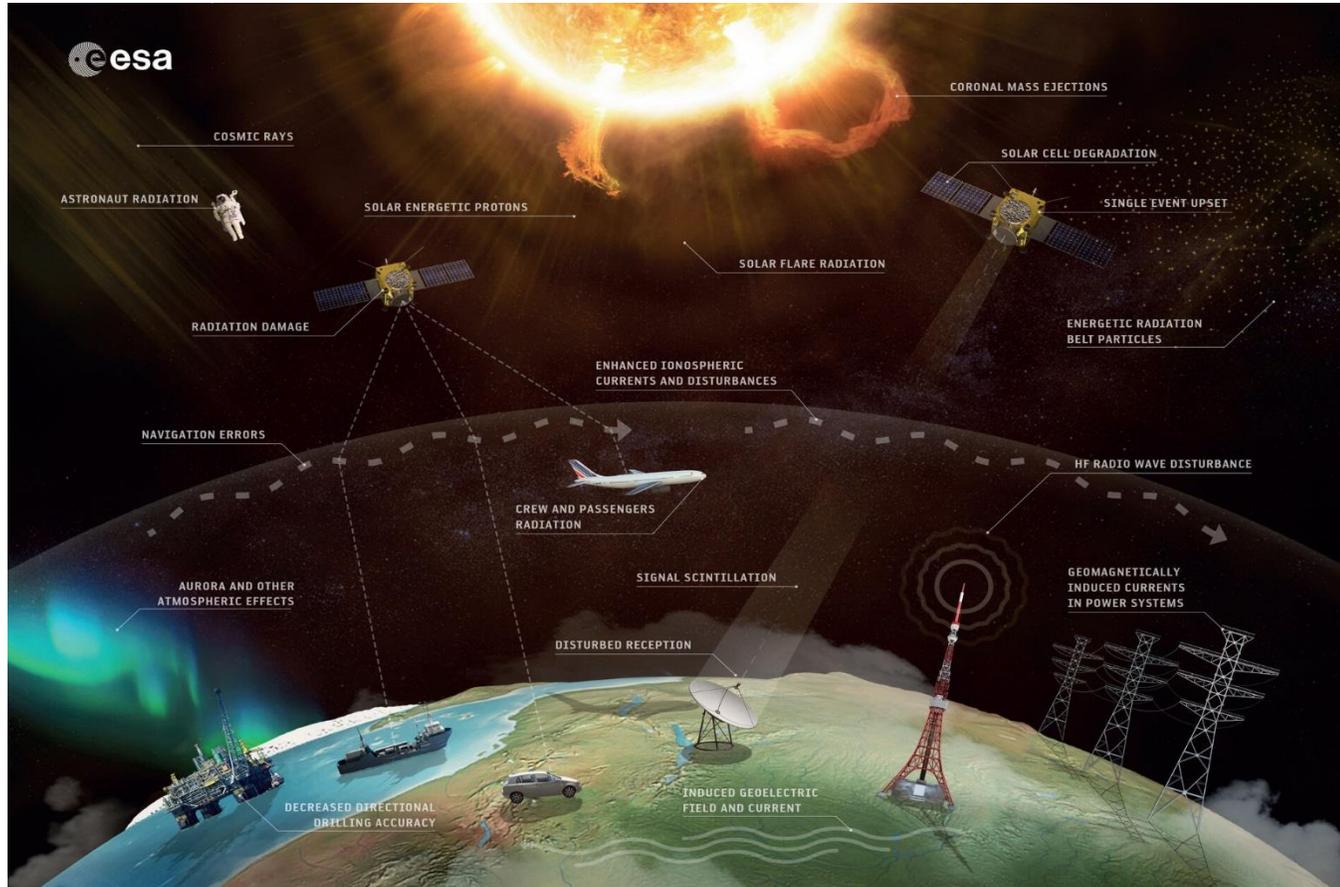


Das DLR koordiniert das Expert Service Center Ionospheric Weather (I-ESC) innerhalb des Weltraumwetter-Segments des ESA Space Safety Programme (S2P).

Das I-ESC liefert, implementiert und unterstützt die Produkte und Fähigkeiten des ESA SWE-Netzwerks für das Wetter in der Ionosphäre und der oberen Atmosphäre, einschließlich der Beobachtung, Überwachung, Interpretation, Modellierung und Vorhersage der Wetterbedingungen in der Ionosphäre und der oberen Atmosphäre.



# GNSS Performance Indikatoren (SWIGPAD)



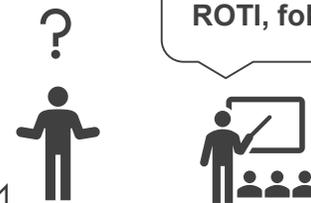
Verständnis  
Weltraumwetter



Science

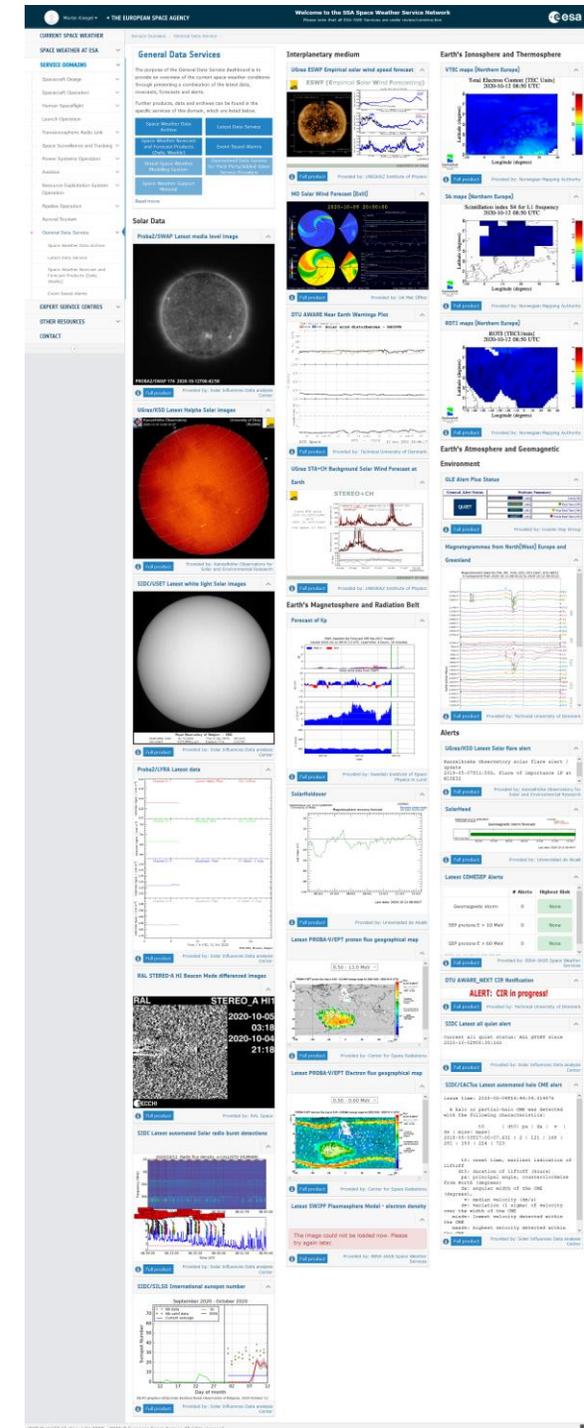
Einfluss auf  
unsere  
Technologie

TEC, S4,  $\sigma\phi$   
ROTI, foF2 ...



GNSS Nutzer

SWIGPAD



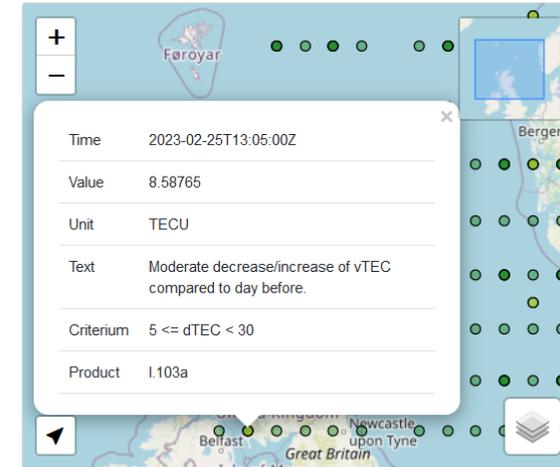
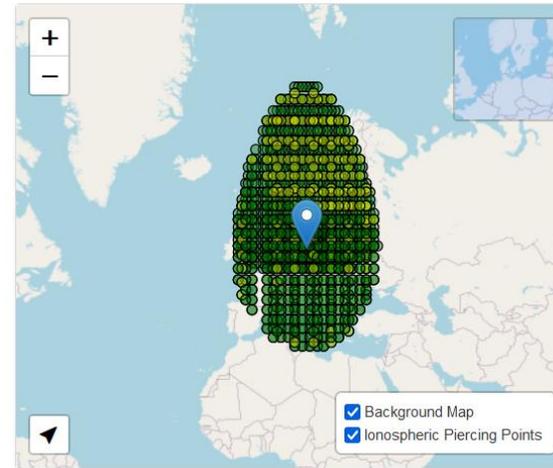
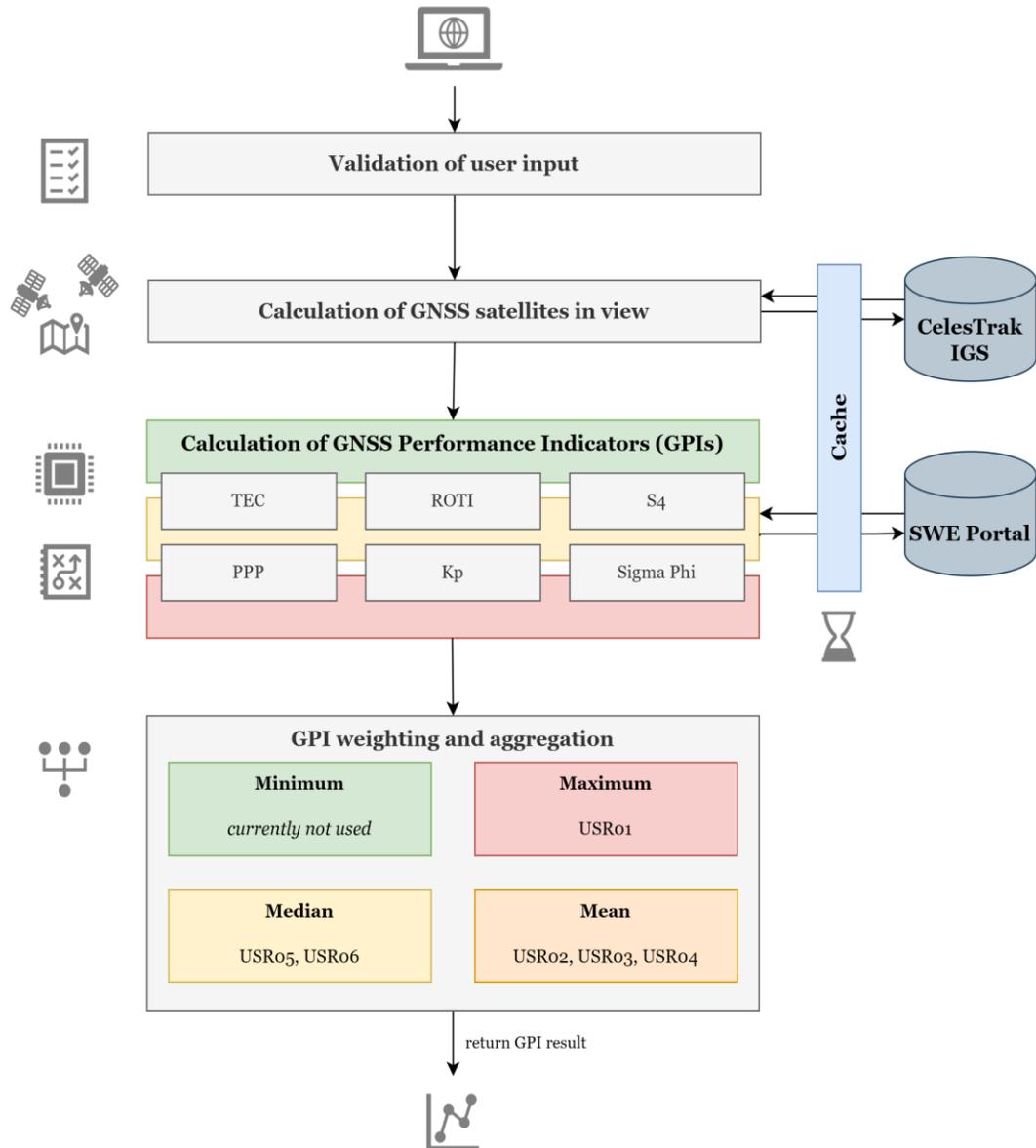
# GNSS Performance Indikatoren (SWIGPAD)



- Adressiert jetzt 6 GNSS-Benutzergruppen durch die Nutzung verschiedener SWE-Portalprodukte
- Das System ist über eine API Schnittstelle oder eine grafische Benutzeroberfläche (GUI) zugänglich
- GUI bietet Eingabehilfen, z.B. die Eingabe der Benutzerposition durch Anklicken der Karte oder die Abfrage der Geolokalisierung des Geräts
- Interaktivere visuelle und numerische Darstellung des Ergebnisses in Form eines Zeitreihendiagramms und detaillierter Informationen



# GNSS Performance Indikatoren (SWIGPAD)



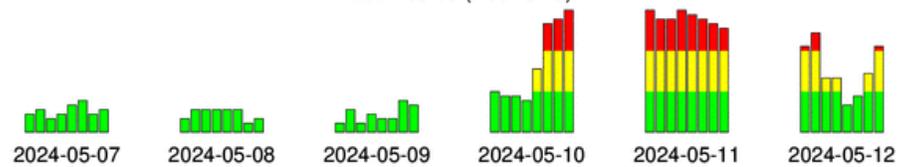
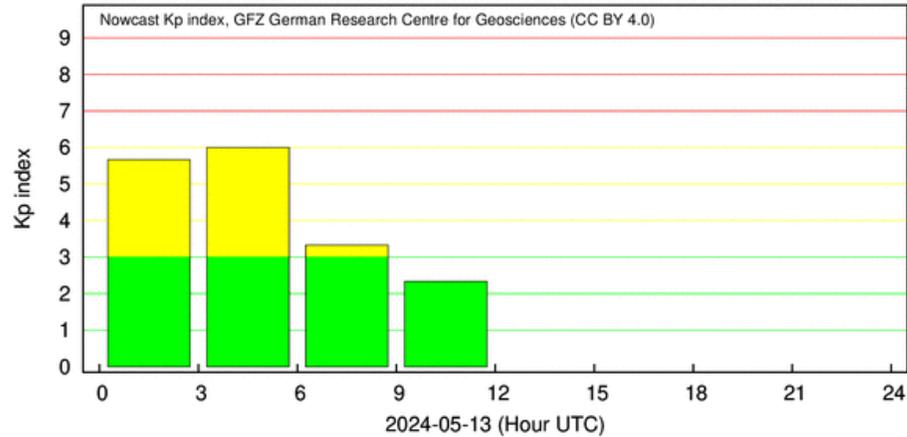
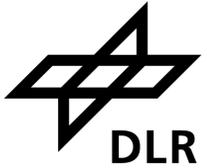
**Output**

Details Download

**Performance Indicator**  
0.4975

Position	53.2709°N, 12.9303°E
User Type	USR02
Date & Time - Start (UTC)	2022-10-06T17:34
Warning / Error Message	

# GNSS Performance Indikatoren (SWIGPAD)



**GNSS Performance Indicators** About Help

---

**Input**

Latitude:  °N Longitude:  °E

User Type:

Date & Time (UTC):

Advanced Options:

---

**Output**

**Performance Indicator**  
1.0000

Position: 50.4015°N, 10.3271°E

User Type: USR01

Date & Time - Start (UTC): 2024-05-10T00:00

Warning / Error Message

This web page forms part of the ESA Space Safety Programme's network of space weather service development activities, and is supported under ESA contract number 4000131051/20/D/CT. For further product-related information or enquiries contact helpdesk. E-mail: [helpdesk.swe@esa.int](mailto:helpdesk.swe@esa.int)

All publications and presentations using data obtained from this site should acknowledge the Ionosphere Monitoring and Prediction Center operated by the German Aerospace Center (DLR) and The ESA Space Safety Programme.

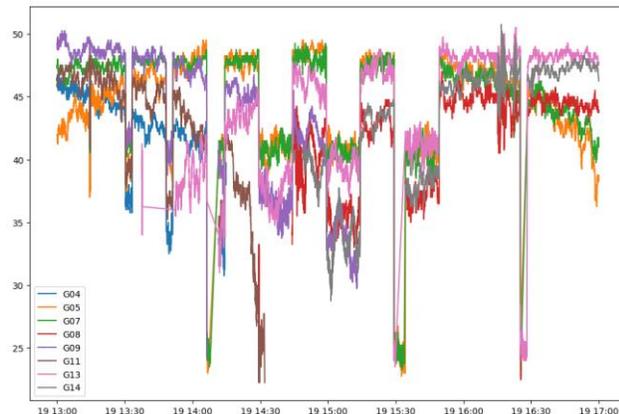
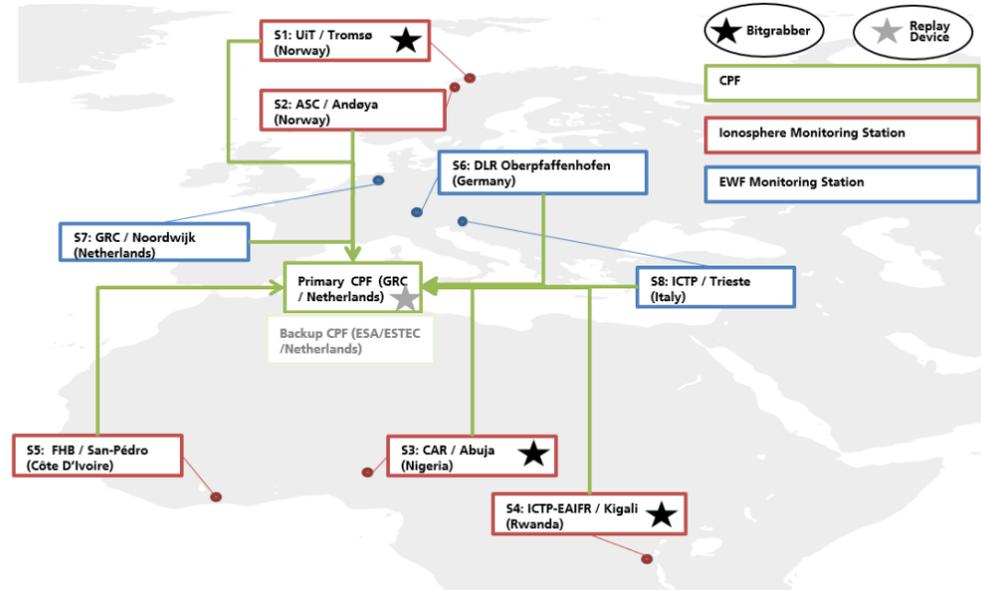
For further information about space weather in the ESA Space Safety Programme see: [www.esa.int/spaceweather](http://www.esa.int/spaceweather)

Access the S2P-SWE Portal here: [swe.ssa.esa.int](http://swe.ssa.esa.int)

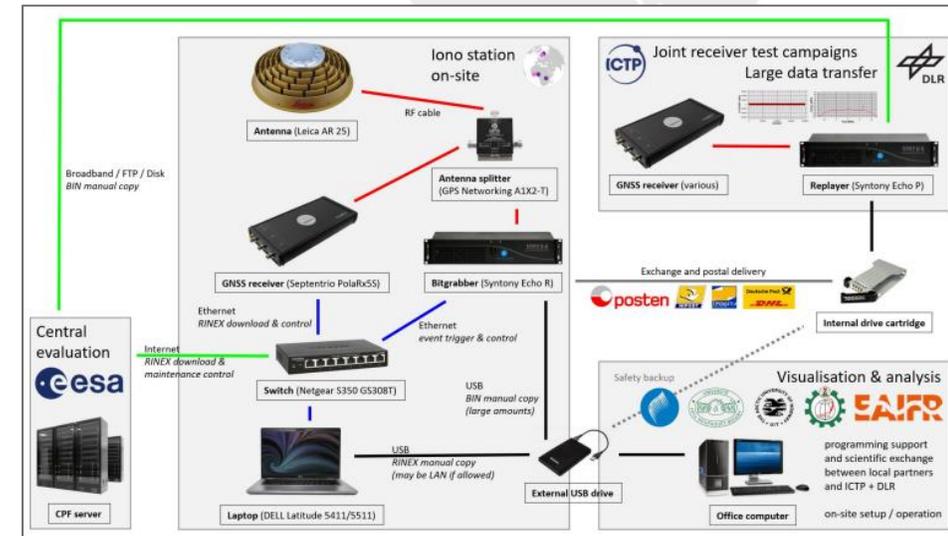
# H2020 ESA H037 Evil Waveform and Ionospheric Characterization Monitoring Network



- Ziel: Aufbau und Betrieb eines experimentellen GNSS-Sensornetzes ("eMONITOR-Testbed") in hohen und niedrigen Breitengraden innerhalb des europäisch-afrikanischen Sektors, d.h. des EGNOS-Dienstgebiets bzw. des erweiterten EGNOS-Dienstgebiets.
- Ergänzt durch Fast-Echtzeit-Messungen von mehr als 100 weltweit verteilten, permanent arbeitenden GNSS-Bodenempfängern werden die gesammelten Daten zur Analyse der Ionosphäre und ihrer Auswirkungen auf SBAS-Parameter verwendet.



Aufgezeichnete GNSS-Störungen während Jammertest 2023-Kampagne in der Nähe von Andøya, Norwegen.  
(<https://mtfnd.org/wp-content/uploads/Jammertest-2023-information.pdf>)



# GNSS Performance Monitoring (DLR)





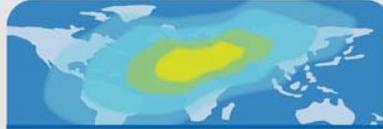
**GNSS Basics – Satellites, stations and DOPs**  
Maps showing visible satellites, sensor stations, DOP values, related charts.

[Explore](#)



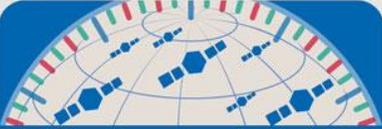
**System Performance Comparison**  
Charts comparing GNSS horizontal errors.

[Explore](#)



**Ionospheric conditions**  
Map showing positioning errors induced by the ionosphere.

[Explore](#)



**Satellite clock**  
Charts showing ADEV for all GNSS satellites.

[Explore](#)



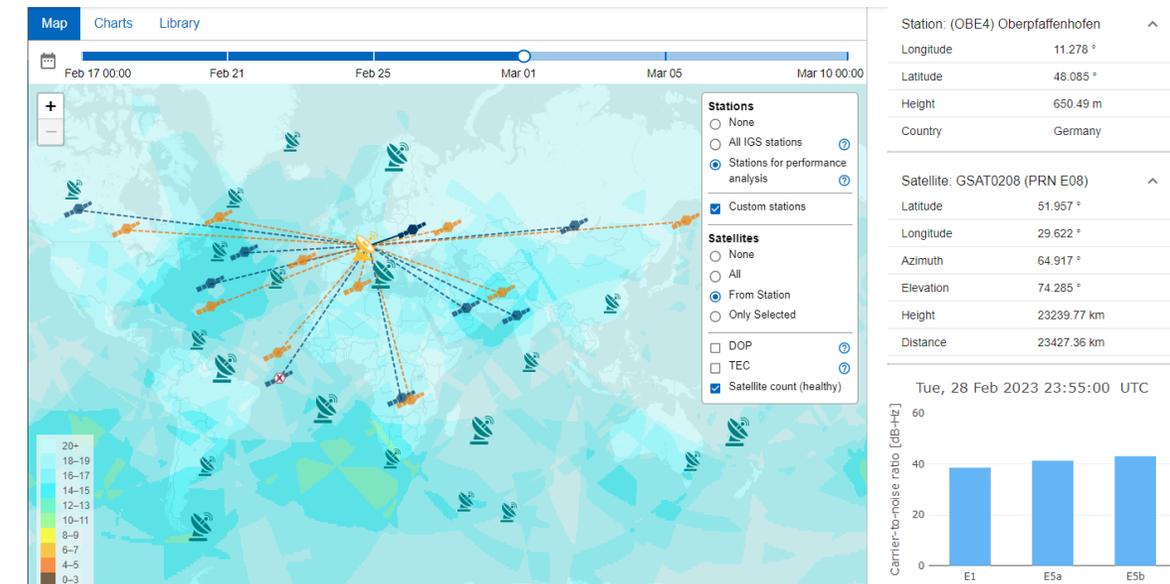
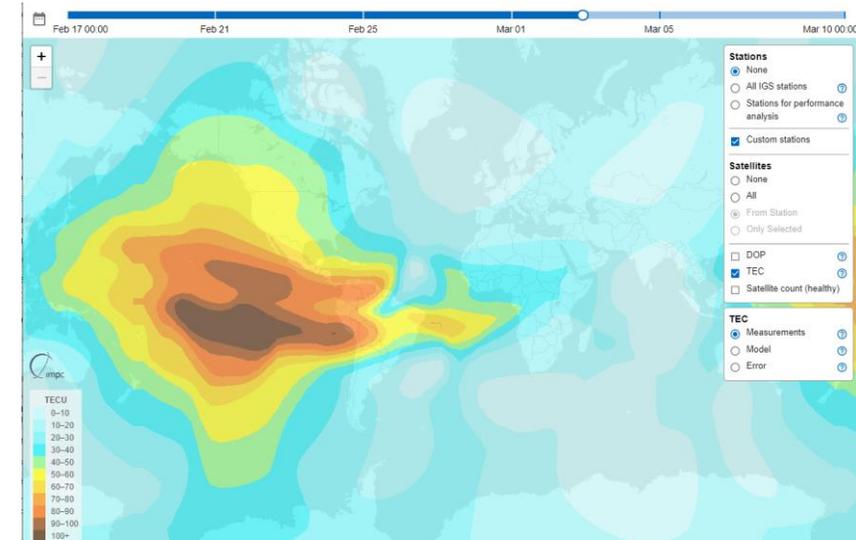
**Satellite Library**  
Showing health status and basic information about the satellites.

[Explore](#)



**GNSS Advanced – Flexible Analysis/Settings**  
Choose your specific settings, maps, charts or tables to dig deeper into the GNSS world.

[Explore](#)

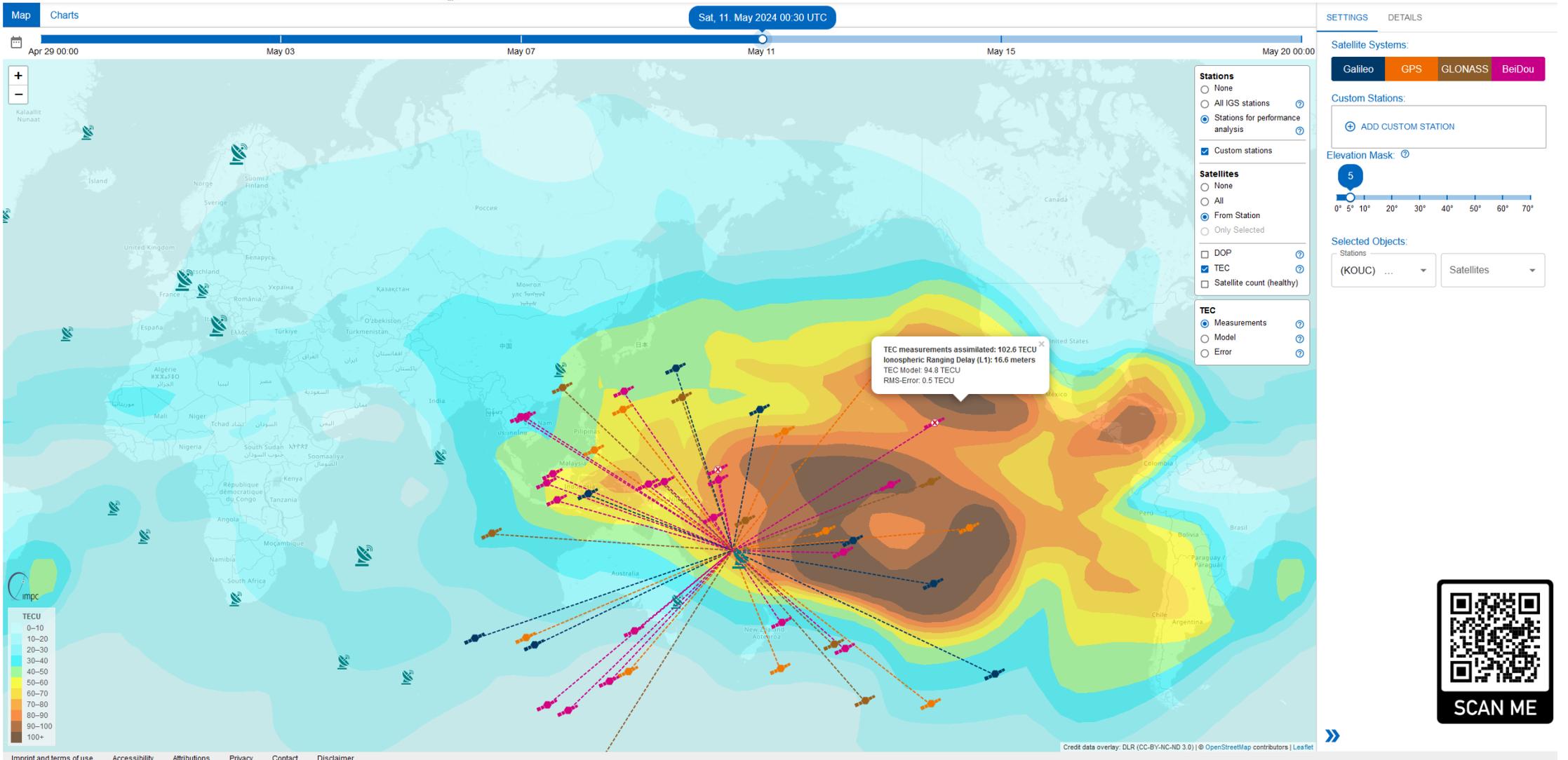


<https://gnss-monitoring.dlr.de/>

Bereitgestellt durch: **Galileo Kompetenzzentrum**

Partner: DLR-KN, DLR-SC, DLR-RB (GSOC), DLR-SO

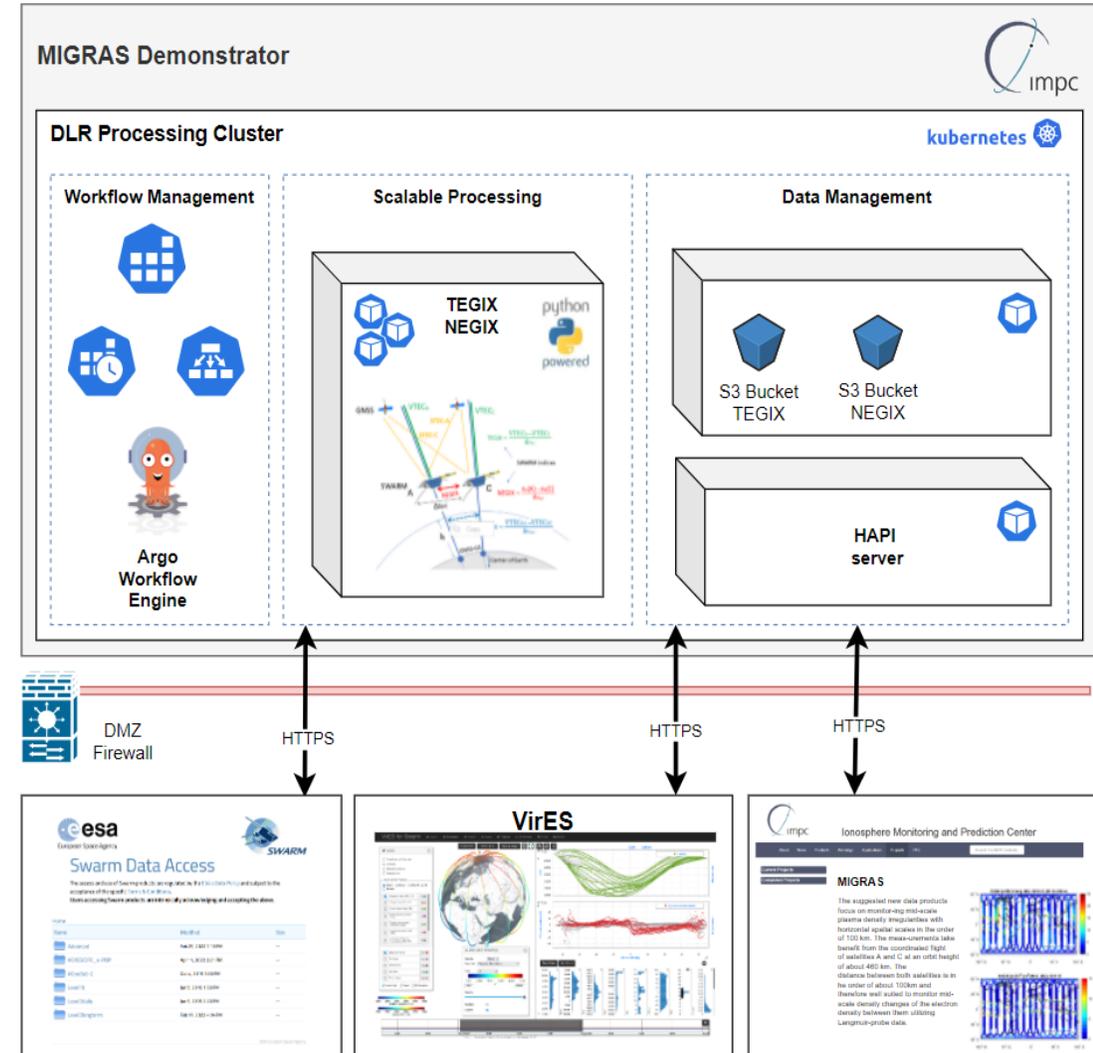
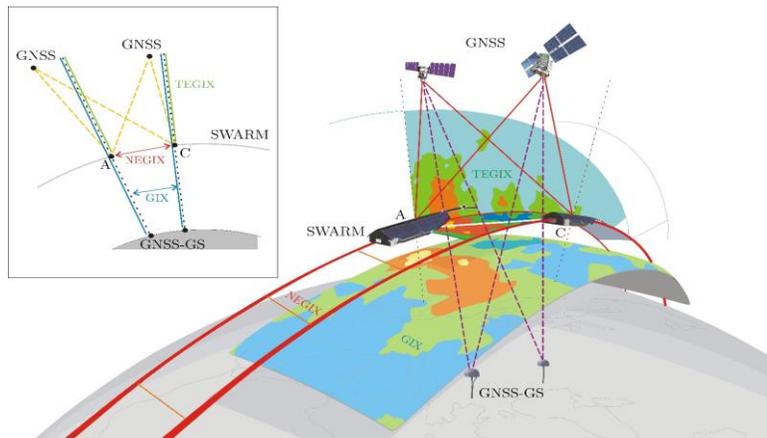
# GNSS Performance Monitoring (DLR)

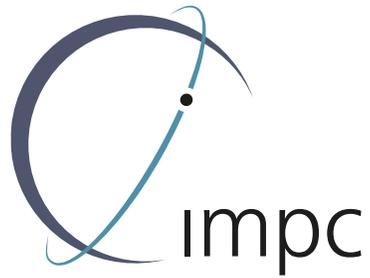


Credit data overlay: DLR (CC-BY-NC-ND 3.0) | © OpenStreetMap contributors | Leafilet

# Überwachung der ionosphärischen Gradienten durch Swarm-Satelliten (MIGRAS)

- Erstes Konzept des MIGRAS-Demonstrators unter Verwendung einer skalierbaren Container-Infrastruktur und der Implementierung von klar definierten und akzeptierten Schnittstellen.
- Die kontinuierlich erzeugten NEGIX- und TEGIX-Produkte (Dateien und Diagramme) werden über das IMPC-Webportal (Dateien, Diagramme) (und auch über einen HAPI-Dienst) an die Swarm-Nutzergemeinschaft verteilt.





<https://impc.dlr.de>



**Most recent news**

**5. Nationaler Weltraumwetter-Workshop**  
09/21/2021 | [IMPC News](#)  
Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt lädt vom 21-23. September 2021 zum 5. Nationalen Weltraumwetter-Workshop ein.  
[Read more](#)

**Current Ionosphere Weather Conditions**

Total Electron Content (TEC) 2021-09-21T08:25:00 UT

Ionospheric Range Error (L1) / m

TEC / TECU

**Why do we monitor the ionosphere?**

The ionosphere is the ionised part of the Earth's atmosphere. Most of the atmospheric gas molecules in the ionosphere are ionised by the ultraviolet radiation coming from the Sun. Additionally, charged particles from the magnetosphere reach the atmosphere and contribute to the ionosphere.

The ionosphere forms several layers ranging in altitude from about 60 km to more than 1000 km. The ionosphere is electrically conducting. Therefore, it reflects radio waves at frequencies less than about 30MHz like a plate or a mirror. Higher frequency radio waves - up to 10GHz - can pass through the ionosphere, but undergo modification. Electric currents flowing at these altitudes modify the geomagnetic field, induce voltage effects at the ground and warm up the ionosphere like an electric heater.

The performance of radio systems used in space based communication, navigation and remote sensing is affected by the ionospheric variability. Moreover, ionospheric disturbances caused by space weather effects may degrade the accuracy, reliability and availability of Global Navigation Satellite Systems (GNSS), such as GPS and the future civilian European system Galileo. Near real-time information and data service on the current state of the ionosphere, related forecasts and warnings can significantly improve navigation and communication systems.

For the purpose of mitigation, the Ionosphere Monitoring and Prediction Center (IMPC) maintained by DLR provides a near real-time information and data service on the current state of the ionosphere, related forecasts and warnings. Fundament of the IMPC development is a solid and continuous research activity in ionospheric science. The IMPC research addresses amongst others ionospheric perturbation detection, modelling and forecasting, mapping errors, higher order errors in precise point positioning, empirical and physical modelling and 3D electron density reconstructions. Well established ground and space based GNSS measurements are used as a unique data base to permanently monitor the electron density and its structure of the ionosphere-plasmasphere system.

**IMPC**

Ground-based Measurements | Space-based Measurements

Ionosphere Monitoring | Ionosphere Prediction | Ionosphere Modelling

Warning | Data Archive (Last 30 minutes, Last 24h)

Commercial Applications | Government | Science | Public Interest

Credits: DLR

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt**  
German Aerospace Center

Contact | Imprint - Credits | Data Protection Consent | Accessibility | Terms of Use

License Agreement

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
German Aerospace Center

Ionosphere Monitoring and Prediction Center  
Kalkhorstweg 53  
17235 Neustrelitz

# Werde Teil des impc Teams



## in Neustrelitz, Germany



### Wissenschaftliche Tätigkeit / Projektarbeit

Steigen Sie ein in die faszinierende Welt des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), um mit Forschung und Innovation die Zukunft mitzugestalten! Mit dem Know-how und der Neugier unserer 11.000 Mitarbeitenden aus 100 Nationen sowie unserer einzigartigen Infrastruktur, bieten wir ein spannendes und inspirierendes Arbeitsumfeld. Gemeinsam entwickeln wir nachhaltige Technologien und tragen so zur Lösung globaler Herausforderungen bei. Möchten Sie diese große Zukunftsaufgabe mit uns zusammen angehen? Dann ist Ihr Platz bei uns!

Für unser **Institut für Solar-Terrestrische Physik** in Neustrelitz suchen wir eine/n

**Physiker/in, Geophysiker/in, Geoinformatiker/in, Mathematiker/in o.ä. (m/w/d)**

Weltraumwetterforschung

Das erwartet Sie:

Das Weltraumwetter hat einen erheblichen Einfluss auf die Leistung und Zuverlässigkeit von weltraumgestützten und bodengestützten technologischen Systemen. Es kann erhebliche Störungen an modernen Kommunikations- und Navigationssystemen bewirken und damit zu erhöhten Sicherheitsrisiken, wirtschaftlichen Verlusten und verminderter Lebensqualität führen. Die Abteilung Weltraumwettereinfluss entwickelt und untersucht Methoden zur Messung, Bewertung und Vorhersage physikalischer und technischer Größen, welche die Auswirkungen von Weltraumwetter auf technische Systeme beschreiben können. Die Ergebnisse helfen die Auswirkungen des Weltraumwetters auf unsere Gesellschaft und technische Systeme besser zu verstehen und in Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen, industriellen oder staatlichen Partnern mögliche Gegenmaßnahmen zu entwickeln.

Ihre Mission liegt im Bereich der anwendungsorientierten Forschung und trägt zum wissenschaftlichen und technischen Verständnis der Wechselwirkungen zwischen dem Weltraumwetter und unserer Infrastruktur (am Boden und im Weltraum) bei. Dadurch sollen Betreiber kritischer Infrastrukturen und Dienste in den Bereichen Navigation, Kommunikation, Luftfahrt, Weltraumforschung und Elektrizitätsnetz unterstützt werden.



SCAN ME



**Unser IMPC UserHelpDesk**

[impc-uhd@dlr.de](mailto:impc-uhd@dlr.de)

**beantwortet Ihre Fragen ☺**

