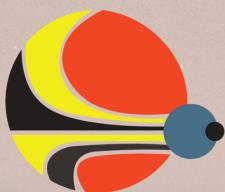


KANN ICH EINEN AUSFALL MEINES NAVIGATIONSSYSTEMS

AUFGRUND VON WELTRAUMWETTER ERLEBEN?



e-swan
EUROPEAN SPACE WEATHER
AND SPACE CLIMATE ASSOCIATION

INHALTSVERZEICHNIS



01 NAVIGATION, POSITIONIERUNG UND
ZEITBESTIMMUNG IN DER HEUTIGEN WELT

02 WIE FUNKTIONIERT GNSS?

03 WAS IST WELTRAUMWETTER?

04 WIE BRINGT WELTRAUMWETTER ALLES
DURCHEINANDER?

05 WIE WIRD DER EINFLUSS VON
WELTRAUMWETTER GEMINDERT?

06 E-SWAN BILDUNGS- UND
ÖFFENTLICHKEITSARBEITSKOMITEE



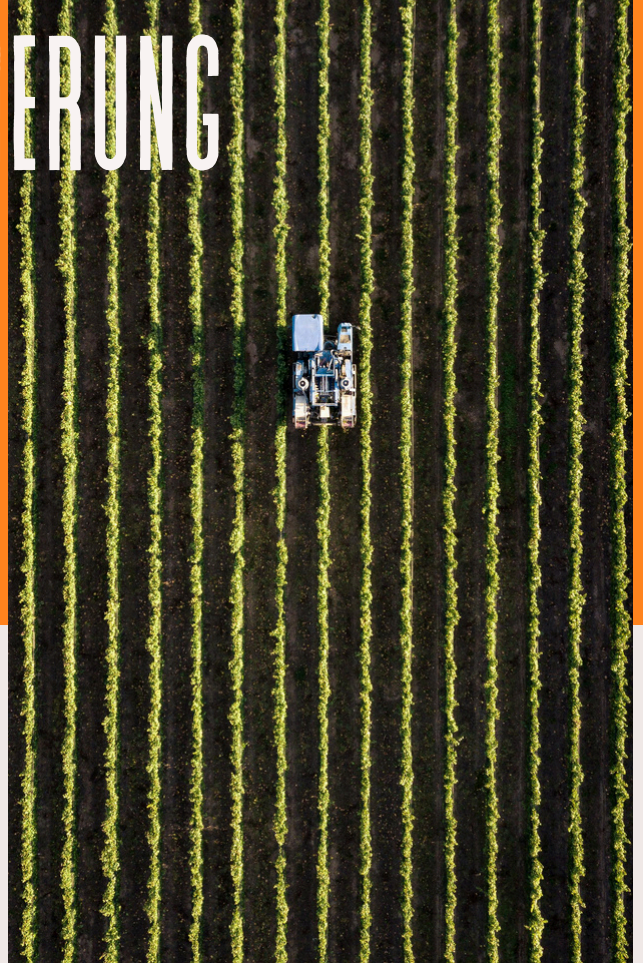
NAVIGATION, POSITIONIERUNG UND ZEITBESTIMMUNG IN DER HEUTIGEN WELT

Vor langer Zeit navigierten Menschen mithilfe der Sonne, des Mondes und der Sterne. Heute verlassen wir uns auf eine andere Art von Konstellation — Netzwerke von Satelliten, die GNSS genannt werden, kurz für Global Navigation Satellite Systems — um uns an Land, auf See und in der Luft zu führen. GPS (Global Positioning System) ist das älteste und wahrscheinlich bekannteste unter ihnen.

Diese Systeme liefern Positions-, Navigations- und Zeitinformationen und unterstützen nahezu jeden Teil des modernen Lebens. Doch dieser erstaunliche Dienst ist nicht unverwundbar — plötzliche Störungen können auftreten, und eine überraschende Bedrohung ist das Weltraumwetter.

Wo wird GNSS im modernen Leben verwendet?

GNSS ist in das Gefüge unseres täglichen Lebens eingewoben. Vom Abrufen von Wegbeschreibungen auf deinem Telefon, dem Pendeln zur Arbeit, dem Fliegen über Kontinente, dem Segeln über Ozeane oder einfach dem Abheben von Bargeld an einem Geldautomaten — GNSS arbeitet im Hintergrund, um all dies zu ermöglichen. Hier sieht es sich in unserem Leben:



Alltag: Echtzeitverfolgung hilft dir zu wissen, wann dein Bus oder Zug ankommt. GNSS führt auch Rettungsdienste schneller zu Einsatzorten und hilft dir, Hotels, Geschäfte oder Cafés direkt über dein Telefon zu finden.

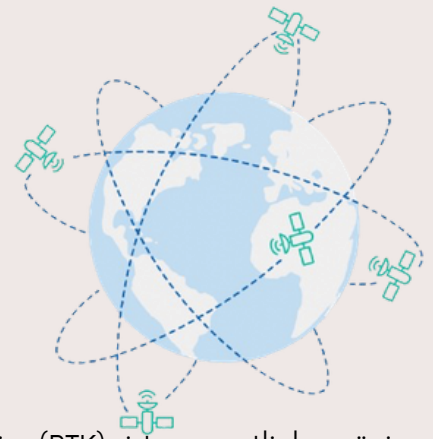
Wirtschaft & Industrie: Landwirte nutzen es, um Traktoren mit Zentimeter- oder Dezimeter-Genauigkeit zu steuern. Vermesser kartieren Land für Straßen und Gebäude. Logistikunternehmen halten Lieferungen auf Kurs, während du den Weg deines Pakets in Echtzeit verfolgst. Banken verlassen sich auf GNSS für präzise Zeitstempel von Transaktionen.

Raumnutzung: GNSS hilft, die Position von der Erde umkreisenden Raumfahrzeugen zu bestimmen und deren Bahn bei Bedarf anzupassen. Bodenstationen nutzen es, um Satelliten und Raumfahrtmissionen in der Umgebung der Erde zuverlässig zu verfolgen.

Autonome Fahrzeuge: Von selbstfahrenden Autos bis zu automatisierten Anlagen in abgelegenen Bergbaugebieten weltweit ermöglicht GNSS neue Transportformen — kein menschlicher Fahrer ist erforderlich.

Verteidigung: Militär und Sicherheitsbehörden sind große Nutzer von GNSS. Es unterstützt Aufklärung, Such- und Rettungsoperationen, elektronische Kriegsführung und präzisionsgesteuerte Systeme.

WIE FUNKTIONIERT GNSS?



GNSS ist ein globales System, das deinem Gerät sagt, wo es sich befindet — egal ob du eine Straße entlanggehst oder durch die Wolken fliegst.

Es funktioniert dank einer Gruppe von Satelliten, die hoch über dem Planeten kreisen (etwa 20.000 km Höhe) und ständig Signale aussenden.

Diese Signale teilen deinem Gerät zwei Dinge mit: wo sich der Satellit befindet und die genaue Zeit, zu der das Signal gesendet wurde.

Dein Telefon, Auto oder ein anderes Gerät mit GNSS-Empfänger verwendet Signale von mehreren Satelliten, um deinen genauen Standort, deine Geschwindigkeit und die Zeit zu bestimmen — alles in Echtzeit!

GNSS wird in vielen Anwendungen genutzt, und jede davon bietet ein unterschiedliches Maß an Genauigkeit, abhängig vom Einsatz.

Standard-GNSS, wie es in deinem Smartphone oder Auto verwendet wird, bietet grundlegende Standortverfolgung und funktioniert nahezu überall auf der Erde. Es benötigt keine zusätzliche Ausrüstung und liefert typischerweise eine Genauigkeit von 5 bis 10 Metern — ausreichend für Navigation und alltägliche Nutzung.

Real-Time Kinematic (RTK) ist wesentlich präziser. Es basiert auf einer nahegelegenen Basisstation mit bekannten geodätischen Koordinaten, die Positionskorrekturen in Echtzeit übermittelt. Dieses System ermöglicht eine Genauigkeit im Zentimeterbereich, was für Anwendungen wie Vermessung, präzise Drohnensteuerung im Nahbereich und Präzisionslandwirtschaft entscheidend ist. Allerdings funktioniert es nur in einem begrenzten Bereich — normalerweise etwa 20 Kilometer von der Basisstation entfernt — und erfordert spezialisiertere Ausrüstung.

Dann gibt es Precise Point Positioning (PPP). Auch dieses zielt auf hohe Genauigkeit ab, benötigt jedoch keine lokale Basisstation. Stattdessen verwendet es fortschrittliche Empfänger und Korrekturdaten, die über Satelliten oder Internet bereitgestellt werden, wobei es oft einige Minuten dauert, bis eine ausreichend hohe Genauigkeit erreicht wird. PPP ist nützlich für wissenschaftliche Beobachtungen, Offshore-Arbeiten oder autonome Fahrzeuge, bei denen eine großflächige Abdeckung erforderlich ist, aber keine lokale Infrastruktur vorhanden ist.

Schließlich bieten satellitengestützte Ergänzungssysteme (SBAS) eine verbesserte Genauigkeit für Standard-GNSS, indem zusätzliche Satelliten regionale Korrekturdaten senden. Mit einem SBAS-fähigen Empfänger kann eine Positionsgenauigkeit von 1 bis 3 Metern erreicht werden. SBAS ist besonders hilfreich in der Luftfahrt — für sichere Landungen — sowie in der Schifffahrt und ist regional verfügbar, etwa in Europa und Nordamerika.





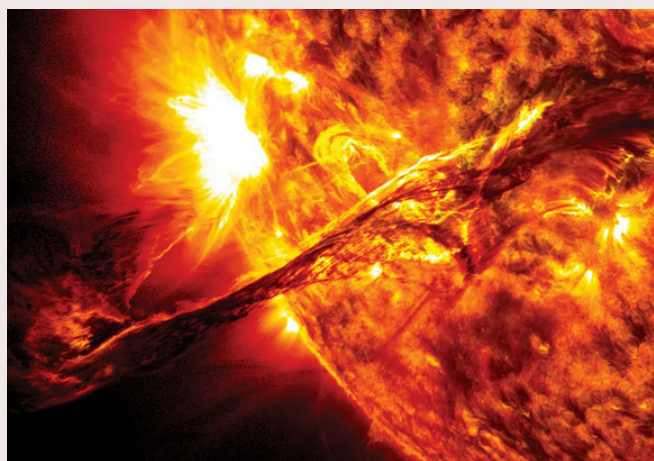
Polarlichter sind deutliche Anzeichen für Weltraumwetter. Sie entstehen, wenn Teilchen von der Sonne in der Nähe der Pole auf die Erdatmosphäre treffen. Die Farben zeigen, in welcher Höhe und mit welchen Gasen die Teilchen reagieren: Grün kommt von Sauerstoff in mittleren Höhen, Rot von Sauerstoff in großen Höhen und Violett oder Blau von Stickstoff in niedrigen Schichten. Bildnachweis: Alex Dostie / UGC



Weltraumwetter bezeichnet sich ändernde Bedingungen im Weltraum, die hauptsächlich durch Sonnenaktivität verursacht werden. So wie die Erde ihr eigenes Wetter hat — Regen, Wind und Stürme — gibt es auch im Weltraum „Wetter“, und dieses kann die Umgebung unseres Planeten beeinflussen.

Die Sonne ist die Hauptquelle, die das Weltraumwetter beeinflusst. Sie sendet ständig Energie und Teilchen in den Weltraum. Wenn die Sonne aktiver wird — insbesondere bei Ereignissen wie Sonnenflares oder koronalen Massenauswürfen (CMEs) — kann sie große Mengen an Strahlung und geladenen Teilchen zur Erde schicken. Diese können das Erdmagnetfeld und die äußeren Schichten unserer Atmosphäre, wie die Ionosphäre, stören.

Die Ionosphäre ist ein Bereich der oberen Atmosphäre der Erde, der etwa bei 80 km beginnt und sich bis etwa 600 km erstreckt. Sie enthält hauptsächlich neutrale Atome (vor allem Sauerstoff) und einen kleinen Anteil geladener Teilchen (Ionen und Elektronen), die größtenteils durch die Wechselwirkung zwischen Sonnenstrahlung und den Teilchen in der oberen Atmosphäre entstehen. Dieser Bereich ist sehr wichtig, da er es Funksignalen ermöglicht, sich auszubreiten und entfernte Orte zu erreichen.



Eine Filamenteruption auf der Sonne, aufgenommen am 31. August 2012. Ein Filament ist eine große, dichte Ansammlung von Plasma, die durch Magnetfelder über der Sonnenoberfläche gehalten wird. Solche Filamente können in den Weltraum ausbrechen und dabei Satelliten sowie Stromnetze beeinträchtigen. Bildnachweis: NASA

WAS IST WELTRAUMWETTER?

Die wichtigsten Treiber des Weltraumwetters sind:

-  **Sonnenwind:** Ein stetiger Strom geladener Teilchen von der Sonne. Ein Sonnensturm kann den Sonnenwind auf höhere Geschwindigkeiten bringen.
-  **Sonnenflares:** Starke Explosionen auf der Sonnenoberfläche, die Energie und Strahlung freisetzen. Diese können Funk- und Satellitensignale auf der Erde stören.
-  **Koronale Massenauswürfe (CMEs):** Große Wolken aus Plasma und Magnetfeldern, die von der Sonne ausgestoßen werden. Treffen sie auf das Erdmagnetfeld, können sie geomagnetische Stürme verursachen. Diese sind Störungen im Erdmagnetfeld und können Satellitenbahnen, GNSS-Signale, Stromnetze und Funkkommunikation beeinflussen.
-  **Sonnenprotonenereignisse:** Ausbrüche hochenergetischer Protonen von der Sonne. Diese sind besonders gefährlich für Astronauten und können Satellitenelektronik beschädigen.

WIE BRINGT WELTRAUMWETTER ALLES DURCHEINANDER?

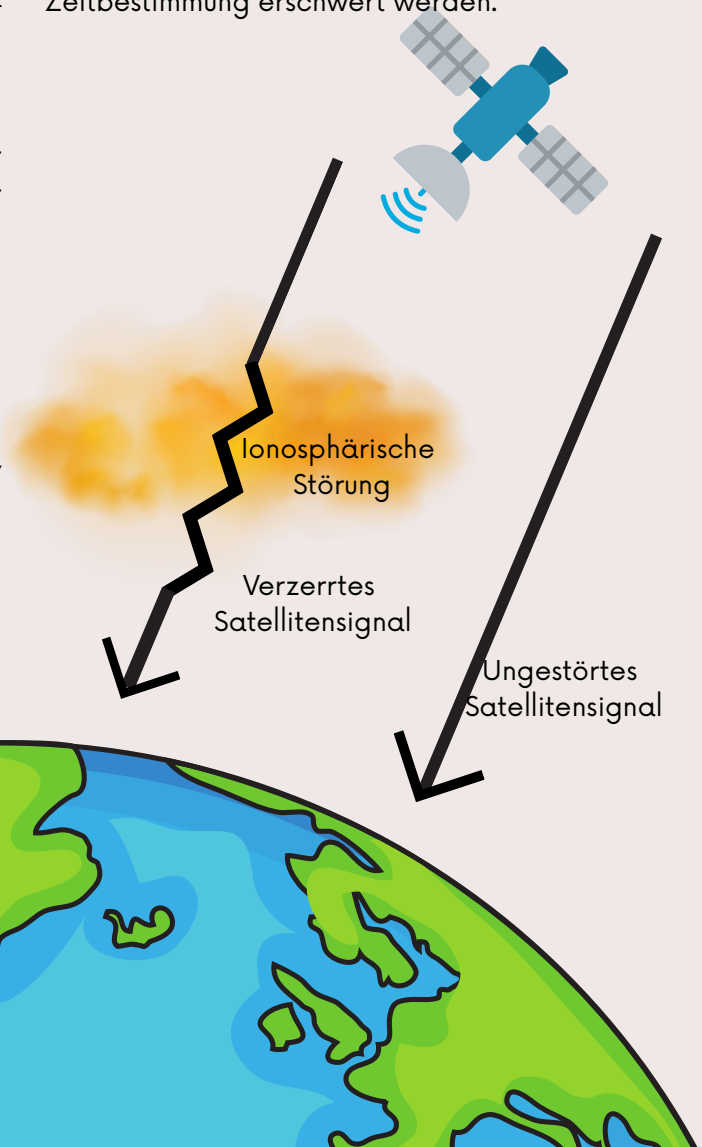
Während **Sonnenflares** sendet die Sonne intensive elektromagnetische Strahlung wie Röntgenstrahlen und gelegentlich starke Radiowellen aus. Die Röntgenstrahlen beeinflussen schnell die untere Ionosphäre, erhöhen die Ionisation und verursachen Ausfälle von Kurzwellenfunkverbindungen, die die HF-Kommunikation stören. Gleichzeitig können die Radiowellen des Flares — wenn sie im GNSS-Frequenzbereich auftreten — Satellitensignale überlagern und zu verschlechterter oder verllorener GNSS-Leistung führen. Starke Sonnenflares können 15 Minuten bis mehrere Stunden dauern und treten einige Male pro Jahr auf.

Geomagnetische Stürme stören das Erdmagnetfeld und können GNSS-Signale beeinträchtigen, wodurch sie weniger zuverlässig werden. Diese Stürme sind relativ häufig und treten zwischen 20 und 150 Mal pro Jahr auf. Sie dauern gewöhnlich zwischen 6 und 48 Stunden — manchmal auch länger.

Ionosphärische Störungen wie Plasma-Blasen können GNSS-Signale verschlechtern und Positionsfehler verursachen. Plasma-Blasen sind Bereiche in der Ionosphäre mit plötzlich verringerter Teilchendichte. Sie entstehen meist in Äquatornähe nach Sonnenuntergang und dauern typischerweise 1 bis 4 Stunden. Diese Störungen treten täglich auf. Während den geomagnetischen Stürmen, können diese intensiver sein und von Minuten bis zu einigen Stunden andauern. Auch Ereignisse auf der Erde, wie große Vulkanausbrüche, können die Ionosphäre erheblich stören.

Schließlich beschreibt ionosphärische Szintillation die Auswirkungen dieser Störungen auf Satellitensignale — sie lassen Signale flackern oder kurzzeitig ausfallen. Schließlich ist ionosphärische Szintillation die Folge dieser Störungen auf Satellitensignale, wenn diese die Ionosphäre durchqueren und dabei anfangen zu flackern oder zeitweise auszufallen. Dadurch kommt es zu kurzfristigen Störungen in der GNSS-Leistung. Dieses Phänomen tritt besonders häufig in Äquatornähe und in den Polarlichtzonen auf. Szintillation kann je nach Standort, Jahreszeit und Sonnenaktivität von wenigen Sekunden bis zu mehreren Stunden andauern.

Auch wenn einige dieser Effekte gering erscheinen, kann ein starkes Weltraumwetterereignis ihre Auswirkungen auf GNSS deutlich verstärken und die Funktion anderer Satellitensysteme beeinträchtigen — wodurch Navigation, Verfolgung und genaue Zeitbestimmung erschwert werden.



WIE WIRD DER EINFLUSS VON WELTRAUMWETTER GEMINDERT?

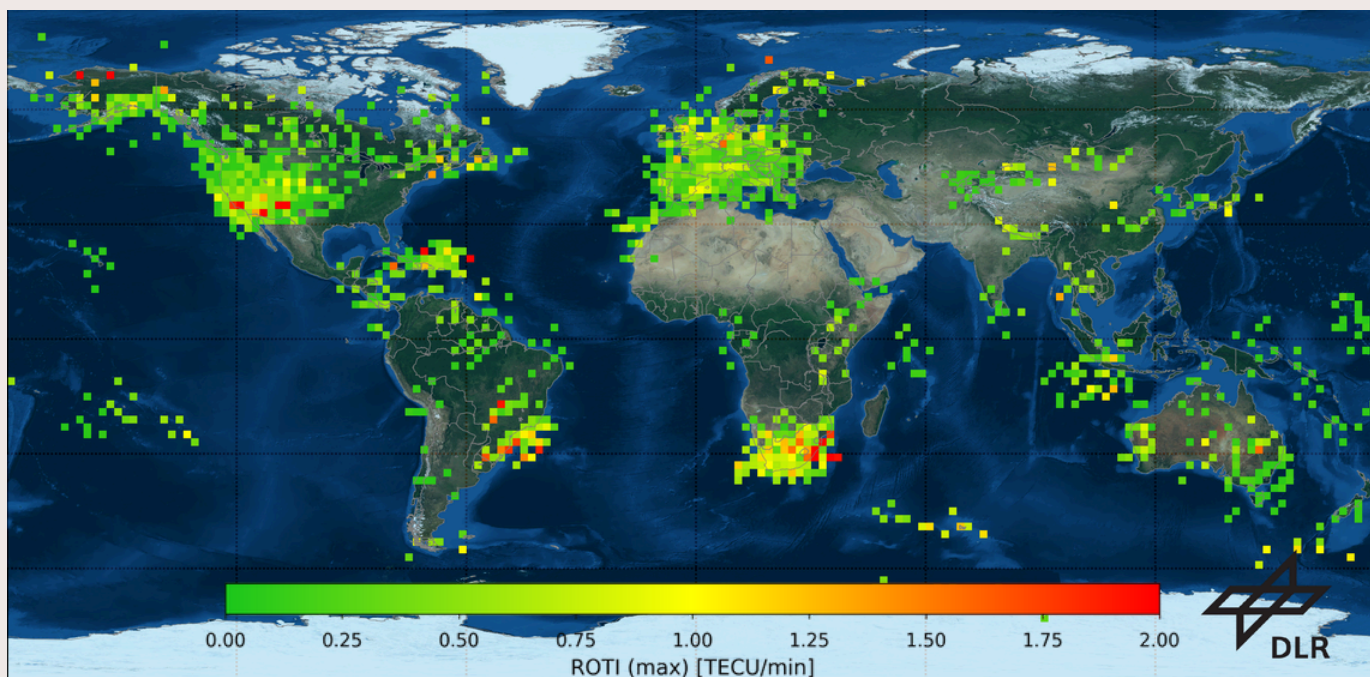
Image credit : NASA

Unabhängig davon, wo wir leben, sind GNSS-Dienste ein fester Bestandteil unseres täglichen Lebens. Dennoch kann ein starkes Weltraumwetterereignis viele dieser Systeme stören, auf die wir angewiesen sind – vom Bank- und Finanzwesen bis hin zur Art und Weise, wie wir unsere Ernten planen und uns in unseren Städten orientieren.

Weltraumwetterzentren auf der ganzen Welt überwachen die Sonnenaktivität und erstellen tägliche Zusammenfassungen sowie Warnungen und Hinweise zu Ereignissen auf der Sonne, die GNSS-Dienste beeinträchtigen können. Einige dieser Zentren bieten E-Mail-Abonnements an, die direkt in deinen Posteingang zugestellt werden.

Wenn ein ungünstiges Weltraumwetterereignis beobachtet wird, geben Weltraumwetterzentren GNSS-Hinweise für die ICAO (Internationale Zivilluftfahrtorganisation) heraus. Dadurch können Flugbesatzungen bei Bedarf geeignete Maßnahmen zur Schadensbegrenzung ergreifen.

Das Verständnis von Weltraumwetter kann Einzelpersonen und Unternehmen dabei helfen, Störungen von GNSS-Diensten vorherzusehen und zu minimieren, kritische Infrastruktur zu schützen und den Zugang zu den Systemen sicherzustellen, auf die wir angewiesen sind — sei es für Navigation, Kommunikation, Positionsbestimmung oder Zeitmessung. Es ist ein wichtiger Schritt in unserer technologiegetriebenen Welt.



Auf dieser Karte zeigen grüne Felder ungestörte ionosphärische Bedingungen an, während orange und rote Felder auf ionosphärische Unregelmäßigkeiten hinweisen. Diese Karte wurde am 8. Oktober 2025 vom Ionosphere Monitoring and Prediction Center (IMPC) unter Verwendung von GPS-Daten erstellt. Sie stellt den ROTI-Index (Rate of Total Electron Content) dar. Dieser Index gibt an, wie schnell sich die Elektronendichte verändert.

Was ist E-SWAN?

Die European Space Weather and Space Climate Association (E-SWAN), gegründet im Jahr 2022, ist eine gemeinnützige Organisation, die darauf abzielt, europäische Aktivitäten im Bereich Weltraumwetter und Weltraumklima zu bündeln und weiterzuentwickeln. E-SWAN verfolgt dieses Ziel auf verschiedene Weise, unter anderem durch die Organisation von Konferenzen, die Unterstützung von Nachwuchswissenschaftlern, die Förderung von Bildung sowie die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftlern, Ingenieuren und weiteren Beteiligten. Der Schwerpunkt von E-SWAN liegt auf Europa, jedoch arbeitet die Organisation auch international zusammen, um das Bewusstsein für die Auswirkungen des Weltraumwetters zu stärken.

Was ist EOCOM?

EOCOM, das Bildungs- und Outreach-Komitee von E-SWAN, hat die Aufgabe, die Kluft zwischen der Fachgemeinschaft für Weltraumwetter und Weltraumklima (SWSC) und der breiten Öffentlichkeit zu überbrücken. Zu den Aktivitäten gehören der Aufbau einer Präsenz in sozialen Medien, die Durchführung von SWSC-Kursen und Webinaren, die Veröffentlichung eines SWSC-Buchs sowie die Weiterentwicklung der E-SWAN-Website. Diese Maßnahmen sollen das öffentliche Bewusstsein für die Bedeutung von SWSC in Europa erhöhen, wissenschaftliches Wissen verbreiten und Bildungsangebote in diesem Bereich fördern.

Über diese Broschüre

Diese Informationsbroschüre mit dem Titel „Kann ich einen Ausfall meines Navigationssystems aufgrund von Weltraumwetter erleben?“ wurde von Sophie Chabanski, Emmy Nagar, Lisa Nelson, Jan Janssens, Jean Lilensten, Corentin Liber und Elke D’Huys verfasst.

übersetzt von Daria K. Chifu

Veröffentlicht am 17. Oktober 2025