

# SWIPPA – Ein ESA-Projekt der ALLSAT mit dem DLR

## Auswirkungen des Weltraumwetters auf die präzise GNSS-Positionierung

Die Sonnenstürme Ende Oktober letzten Jahres haben erneut verdeutlicht, welchen Einfluss die Sonne auf die Erde hat. Solche „Spaceweather-Ereignisse“ wirken direkt auf die ionisierte Schicht der Erdatmosphäre, die sogenannte Ionosphäre. Das Plasma der Ionosphäre hat einen erheblichen Einfluss auf die Wellenausbreitung elektromagnetischer Wellen. Satellitensignale wie die der GPS- und Glonass-Systeme werden in der Ionosphäre in ihrer Laufzeit verändert. Ionosphärische Störungen können dabei zu einer signifikanten Verschlechterung der Performance eines Satellitenpositionierungssystems insbesondere im Hinblick auf Genauigkeit und Zuverlässigkeit führen.

Regional ausgelegte Positionierungsdienste wie ascos, die Korrektursignale für präzise Anwendungen bereitstellen, können ebenfalls in ihrer Performance beeinträchtigt sein.

Der daraus entstehende wirtschaftliche Schaden ist erheblich. Die bereits entwickelten klimatologischen Modelle des Weltraumwetters und der Ionosphäre, sind im konkreten Anwendungsfall noch sehr ungenau. Lokal angepasste Dienste, die ionosphärische Störungen in geeigneter Weise beschreiben und GNSS-Anwendern zur Verfügung stellen, können die Integrität von Positionierungsdiensten verbessern.

Zu diesem Zweck wurde im Mai 2003 das von der ESA geförderte

Projekt „SWIPPA“ (Space Weather Impact on Precise Positioning Applications of GNSS) durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) gemeinsam mit der ALLSAT ins Leben gerufen. Weitere Teilnehmer sind: Informatique, Electromagnetisme, Electronique, Analyse numerique (IEEA) aus Frankreich, Swiss Reinsurance (Schweizer Rück), das Landesvermessungsamt von Mecklenburg-Vorpommern (LVMV), das GeoForschungsZentrum (GFZ) Potsdam, die Fachhochschule in Neubrandenburg (FHNB) und Sensorik & Systemtechnologie GmbH (SenSys).

Spaceweather-Produkte sollen dabei auf regionale Positionierungsdienste abgestimmt und weiterentwickelt werden. Das ascos-Netz liefert im Rahmen dieses Projekts die GNSS-Referenzstationsdaten für GPS und Glonass, die in Neustrelitz für die Generierung ionosphärischer Produkte verwendet werden. Diese Produkte werden der ALLSAT in Nahe-Echtzeit zur Verfügung gestellt, so dass der praktische Nutzen im ascos-Messbetrieb abgeschätzt werden kann.

### Ionosphäre und GNSS

Die Erdatmosphäre ist in verschiedene Schichten untergliedert. Die ionisierte Schicht ist die sogenannte Ionosphäre, die neben neutralen Gasmolekülen aus positiven Ionen und negativen Elektronen besteht. Das als Plasma bezeichnete Gasgemisch bewirkt bei elektromagnetischen Wellen eine Verlängerung der Signallaufzeit. Da die Veränderung der Laufzeit abhängig von der Wellenlänge des Signals ist, können Zweifrequenzempfänger mit

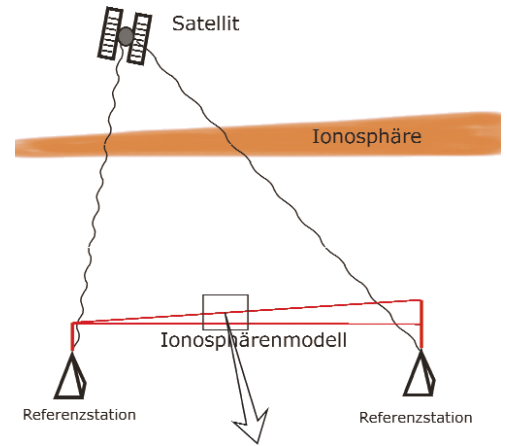


Bild 1: Regionale Modellierung der Ionosphäre

rische Einfluss. Aus den einzelnen Referenzstationen wird ein für das Gebiet des Positionierungsdienstes gültiges Gesamtmodell generiert.

Die Anwender interpolieren sich wie in Bild 1 bei Einwahl in den Positionierungsdienst in dieses Gesamtmodell. Die Abweichung des berechneten Modells vom tatsächlichen ionosphärischen Einfluss

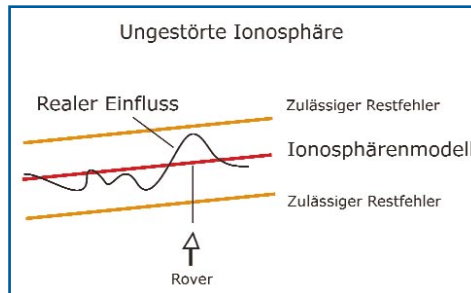


Bild 2: Modellgüte bei ungestörter Ionosphäre

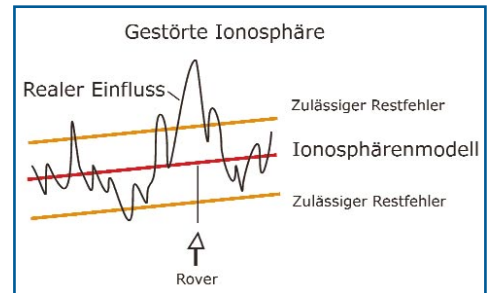


Bild 3: Modellgüte bei gestörter Ionosphäre

unterschiedlichen Wellenlängen den ionosphärischen Einfluss bestimmen und entsprechend korrigieren. Einfrequenzempfänger verwenden bei der Einzelpositionierung globale ionosphärische Modelle.

Bei regionalen Positionierungsdiensten wird die Ionosphäre in einem aus Referenzstationen generierten Modell berücksichtigt. Die Sollkoordinaten auf den Referenzstationen werden dabei in Beziehung zu den GNSS-Beobachtungen gebracht. Die bei der Positionierung auftretenden Fehlerinflüsse werden in einer Ausgleichung mitbestimmt, darunter auch der ionosphä-

dürfen für eine funktionierende präzise Positionierung einen bestimmten Schwellwert nicht überschreiten. In ungestörten Zeiten trifft diese Forderung in der Regel zu (Bild 2). Unter gestörten ionosphärischen Bedingungen ist die Wahrscheinlichkeit hingegen hoch, dass dieser zulässige Restfehler überschritten wird (Bild 3).

Neben der Auswirkung auf die Modellgüte in Referenznetzen kann die Ionosphäre auch das GNSS-Signal direkt beeinflussen. Kleinräumige ionosphärische Unregelmäßigkeiten können Szintillationen bei Radiosignalen verursachen, was bei dem Emp-

fang von GNSS-Signalen zu Qualitätsverlusten und sogar zu einem Empfangsverlust (loss of lock) führen kann.

### Einfluss des Weltraumwetters auf die Ionosphäre

Die durch die Ionosphäre verursachte Signallaufzeitverzögerung hängt vom Grad der Ionisation ab. Als Maß wird häufig die Elektronenanzahl (Electron Content) genannt.

Die Aufspaltung von Gasmolekülen in Ionen und Elektronen erfolgt durch die Ultraviolettstrahlung der Sonne. Die daraus resultierende Elektronendichte unterliegt starken tages- und jahreszeitlichen Schwankungen. Das Tagesmaximum liegt kurz nach dem lokalen Mittag, das jahreszeitliche Maximum fällt mit der Winterzeit zusammen. Ein dritter Zyklus ist in Abhängigkeit von der Sonnenaktivität zu erkennen. Der Aktivitätszyklus von elf Jahren ist optisch durch die Zahl der Sonnenflecken und anhand verschiedener Phänomene in unserer Umwelt zu beobachten (z. B. Baumwachstum).

Die Intensität der ionosphärischen Störungen korreliert mit der Elektronendichte in der Ionosphäre. Dies führte insbesondere in den letzten beiden Wintern um die Mittagszeit zu Schwierigkeiten bei der hochgenauen Positionierung.

Neben diesen periodisch auftretenden Aktivitäten der Ionosphäre können zudem punktuelle Sonnenereignisse einen direkten und starken Einfluss auf die Ionosphäre ausüben. Zu nennen sind dabei koronale Masseneruptionen (Coronal Mass Ejection, CME) und Strahlungsausbrüche (Flares). Bei solchen „Sonnenstürmen“, deren Auswürfe das Magnetfeld der Erde deformieren, ist mit starken ionosphärischen Störungen zu rechnen. Dies hat in den letzten Jahren die satellitengestützte präzise Positionierung in Deutschland für mehrere Stunden stark behindert.

### Das Projekt SWIPPA

Die Erfahrungen der letzten Jahre in der GNSS-Positionierung weisen deutlich auf eine Korrelation der Performance der präzisen Positionierung mit ionosphärischen Störungen hin. Insbesondere zu Mittagszeiten im Winter kann es zu längeren Perioden kommen, in denen die Rover keine Mehrdeutigkeiten lösen können. Am deutlichsten werden diese Zusammenhänge

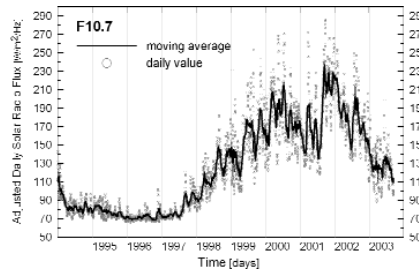


Bild 4: Sonnenaktivität dargestellt durch F10.7-Index

bei großen Sonneneruptionen, deren Energieausbrüche direkt auf die Erde treffen.

Das Ereignis am 29. Oktober 2003 zeigt folgenden Zusammenhang:

Um 06:00 UT erreichte das CME das Magnetfeld der Erde. Zu erkennen ist dies in der unteren Darstellung des geomagnetischen Indizes Kp von Bild 5. Die täglich laufenden Testrover im ascos-Gebiet zeigen wie in Bild 6 dargestellt ab 12:30 UT eine schlechte Performance in der Mehrdeutigkeitslösung (Fixing). Für mehrere Stunden konnten die Mehrdeutigkeiten nicht gelöst werden. Die gleichen Meldungen kamen ebenfalls von mehreren ascos-Anwendern, die sich während dieser Zeit bei der ascos-Hotline meldeten. Die präzise Positionierung in Deutschland war also ungefähr sechs Stunden nach Einwirkung des CME auf das Erdmagnetfeld gestört. Bisherige Warndienste können

Störungen mit einer Genauigkeit von wenigen Stunden und ohne räumliche Spezifizierung ankündigen.

Ziel des Projekts SWIPPA ist es, globale ionosphärische Zustandsparameter regional bzw. lokal aufzulösen und eine optimale Information und Unterstützung für die präzise Positionierung zu entwickeln.

In einer weiteren Stufe ist ein Vorhersagedienst geplant, der Aussagen über zukünftige ionosphärische Auswirkungen auf die Positionierung mit einer höchstmöglichen räumlichen und zeitlichen Auflösung treffen kann.

Bild 7 zeigt den Informationsfluss des SWIPPA-Projekts. Die ascos GNSS-Referenzstationsdaten werden in Echtzeit dem DLR zur Verfügung gestellt. Diese Daten laufen zusammen mit anderen Informationen in einen vom DLR entwickelten Auswertungsprozess, in dem der Zustand der Ionosphäre beschrieben wird.

Ein Nahe-Echtzeitdienst für die optimierte Darstellung des Status der Ionosphäre für die präzise Positionierung wird in einem iterativen Prozess zwischen dem DLR und ALLSAT entwickelt. Diese beiden Projektbeteiligten können dabei auf eine langjährige Erfahrung in ihren jeweiligen Fachbereichen bauen und somit Synergieeffekte erzeugen. Am Standort Neustrelitz, an dem Projektleiter Dr. Norbert Jakowski seit 1974

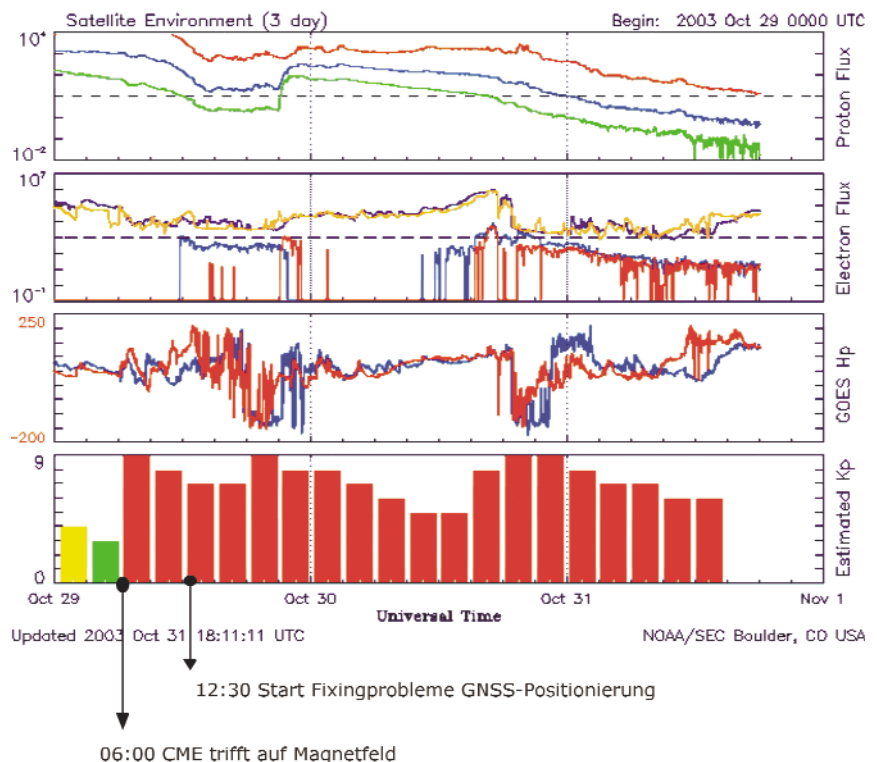


Bild 5: Indizes verschiedener Spaceweather-Parameter

arbeitet, beschäftigt man sich schon seit 1915 mit der Ausbreitung von Radiowellen und später dann auch mit der Erforschung der Ionosphäre. Die Erfahrung des DLR fließen in den eigens entwickelten Auswerteprozess zur lokalen Erfassung ionosphärischer Aktivitäten.

Die ionosphärischen Zustandsbeschreibungen werden dann von der ALLSAT, die seit 1991 im Bereich satellitengestützter Positionierung tätig ist, in Beziehung zu den ascos-basierten GNSS-Anwendungen gebracht.

Eine entscheidende Rolle spielen dabei die von ALLSAT konzipierten Permanetrover (auch Testrover genannt), die kontinuierlich die Performance des ascos-Dienstes widerspiegeln. Die dabei abgeleiteten Per-

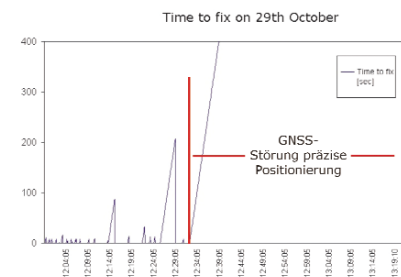


Bild 6: Fixingverhalten Testrover am 29. Oktober 2003

formanceparameter zur Positionierung werden im Hinblick auf Korrelationen zu den beobachteten Effekten in der Ionosphäre untersucht.

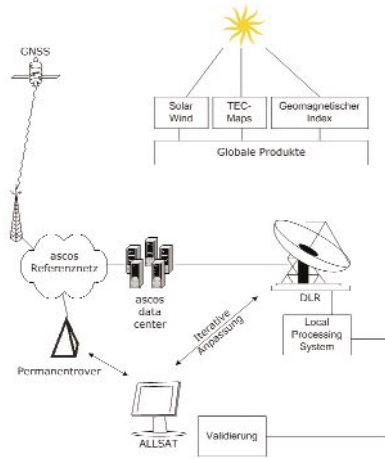


Bild 7: Informationsfluss SWIPPA

Ist der Nachweis der Korrelation erbracht, werden geeignete Parameter definiert, die die Beziehung zwischen ionosphärischer Aktivität und Positionierung in optimaler Weise beschreiben sollen. Dabei kann auf einen großen Informations-Pool im ascos-Dienst zurückgegriffen werden, der Auskunft über das Rover-Verhalten von GNSS-Endanwendern gibt.

Aufbauend und begleitend zu diesen Erkenntnissen wird in der zweiten Projektphase untersucht, inwieweit ein Vorhersagedienst generiert werden kann. Die Vorhersagen ionosphärischer Auswirkungen auf die Positionierung sollen mit einer höchstmöglichen räumlichen und zeitlichen Auflösung zutreffen. Dabei kann auf bereits bestehende Spaceweather-Indizes zurückgegriffen werden, die dem DLR

bereits zur Verfügung stehen. Diese Parameter sollen genutzt werden, um Auswirkungen großräumiger Effekte auf die Region Deutschland präzisieren zu können.

Optional wird ein Konzept erstellt, auf welche Art und Weise die bereit gestellten Daten und gewonnenen Erkenntnisse beim Endanwender in die automatische Prozessierung integriert werden können.

### Ausblick

In den letzten Jahren hat sich die präzise Echtzeitpositionierung unter Einbeziehung von Positionierungsdiensten etabliert. Die darauf aufbauenden Arbeitsprozesse laufen stabil und produktiv. Ionosphärische Störungen stellen dabei den derzeit größten einschränkenden Faktor dar. Die räumliche und zeitliche Auflösung der Modellierung der Ionosphäre reicht zur Zeit nicht aus, gestörte Bedingungen adäquat zu erfassen. Das Projekt SWIPPA verspricht, diesen Umstand zu verbessern und die Integrität satellitengestützter Echtzeitpositionierungen zu steigern.

### Autoren

Dipl.-Ing. Bastian Huck  
 Dipl.-Ing. Jürgen Rüffer,  
 c/o Allsat GmbH networks + services,  
 Am Hohen Ufer 3A, 30159 Hannover,  
 Tel.: 05 11 - 30 39 90,  
 E-Mail: bastian.huck@allsat.de,  
 juergen.rueffer@allsat.de

176 x 93,4