

# Auswirkung der steigenden Sonnenaktivität auf die Performance von SAPOS<sup>®</sup> HEPS Messungen

## 1. Grundlegende Zusammenhänge

Wie Abb. 1 verdeutlicht, nähert sich die Sonnenaktivität zurzeit im Rahmen eines ca. 11-jährigen Zyklus mit wachsender Geschwindigkeit ihrem nächsten Maximum, das durch ein Maximum der beobachteten Sonnenflecken gekennzeichnet ist.

In den Jahren 2006 bis 2010 blieb die Sonnenaktivität lange in einem tiefen Minimum. Insbesondere seit Sommer 2011 jedoch steigt die Sonnenaktivität rapide an.

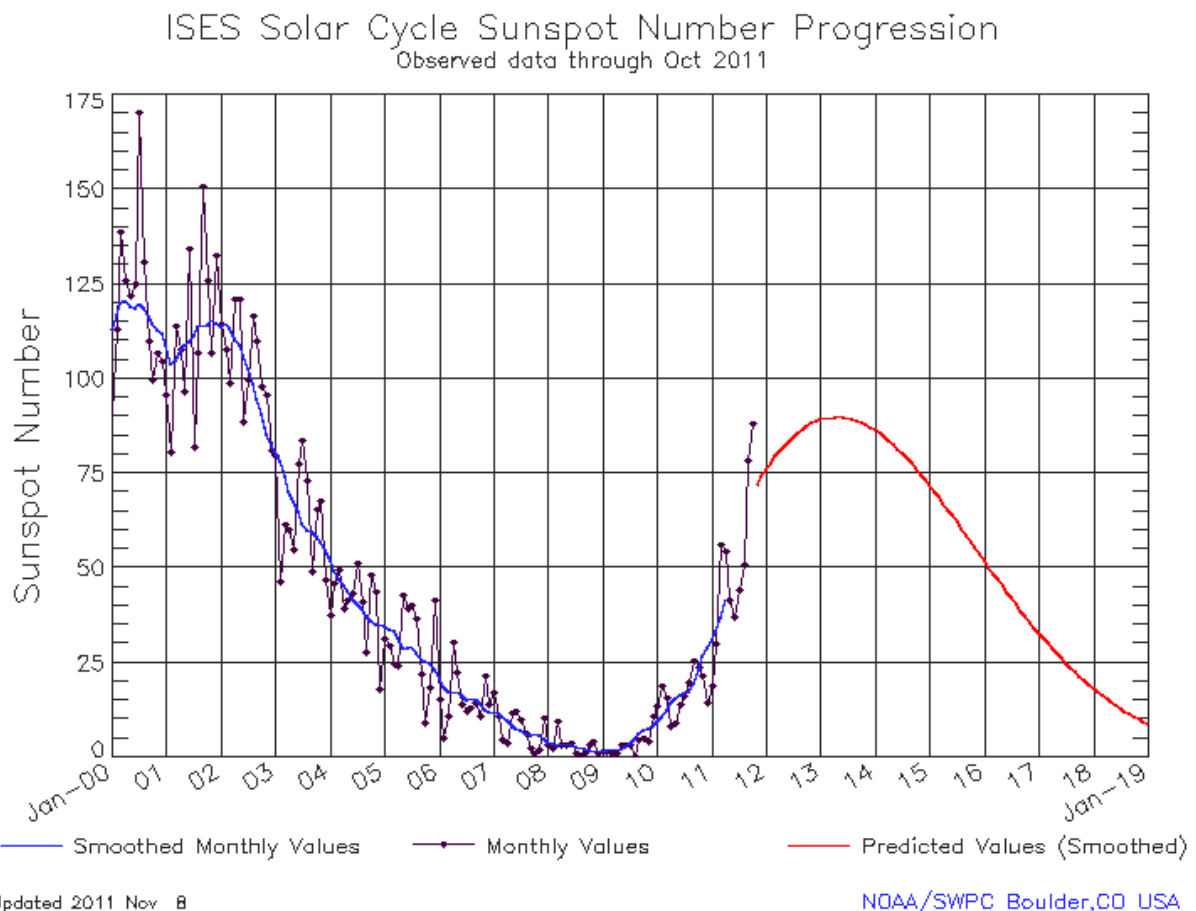


Abb. 1: Sonnenaktivitätszyklus dargestellt anhand der Anzahl der Sonnenflecken (Beobachtung und Prediktion)

Quelle: <http://www.swpc.noaa.gov/SolarCycle/> (vom 10.11.2011)

Eine Folge der steigenden Sonnenaktivität sind größere ionosphärische Fehler bei GNSS-Messungen. Ionosphärische Fehler spielen insbesondere bei RTK-Messungen (**Real Time Kinematik**: zentimetergenaue differentielle GNSS-Vermessung in Echtzeit) eine entscheidende Rolle, da der Erfolg einer Initialisierung des RTK-Rovers abhängig ist von der Größe der verbleibenden differentiellen ionosphärischen Fehler. Selbst nach einer erfolgreichen Initialisierung können solche ionosphärischen Restfehler die erreichbare Positionierungsgenauigkeit deutlich verschlechtern.

In Rahmen einer Referenzstationsvernetzung, die dem SAPOS<sup>®</sup> HEPS Dienst zugrunde liegt, werden die ionosphärischen Fehler im Referenzstationsnetz modelliert und für die Position des RTK-Rovers im Feld so gut wie möglich reduziert. Im Falle von starken

ionosphärischen Störungen gelingt dies jedoch nicht immer. Verbleibende ionosphärische Restfehler können dann die Initialisierungszeiten verlängern und die Positionierungsgenauigkeit verschlechtern. Dies wird um so stärker spürbar, je weiter der RTK - Rover von den physikalischen Referenzstationen entfernt ist.

## 2. Hilfsmittel zur Beurteilung des aktuellen Ionosphäreneinflusses

Im Rahmen der Qualitätssicherung der SAPOS<sup>®</sup> Dienste werden verschiedene Grafiken und Indikatoren zur Verfügung gestellt, die den aktuellen Zustand und Einfluss der Ionosphäre in Echtzeit oder mit nur geringer Zeitverzögerung anzeigen.

Der stündliche I95-Index (Einheit ppm / siehe Abb. 2 und 5) kennzeichnet die Größe der entfernungsabhängigen ionosphärischen Fehler auf die differentiellen GNSS-Beobachtungen. Bei einem hohen I95-Index sollte deshalb die Basislinienlänge bei Postprocessing-Messungen möglichst kurz gehalten werden. Beim Postprocessing lässt sich die Qualität der Positionierung außerdem durch eine Verlängerung der Beobachtungszeit und den Auswahl einer geeigneten Auswertestrategie (ionosphärenfreie Linearkombination) in der Postprocessing-Software i.d.R. verbessern.

Der I95-Index für sich alleine genommen ist hinsichtlich der SAPOS<sup>®</sup> HEPS Messungen (Netz-RTK) allerdings kein ausreichender Indikator für Probleme durch ionosphärische Störungen. Der durch den I95-Index dargestellte entfernungsabhängige Ionosphäreneinfluss kann durch die Referenzstationsvernetzung sehr gut modelliert und reduziert werden, solange die Ionosphäre ungestört ist. Ein erhöhter I95-Index muss also nicht zwangsläufig zu Problemen bei der HEPS-Positionierung führen.

Wesentlich hilfreicher für die Beurteilung des Einflusses der Ionosphäre auf die SAPOS<sup>®</sup> HEPS Messungen sind deshalb Indikatoren, die die Restfehler des Ionosphärenmodells der Referenzstationsvernetzung anzeigen. In Abb. 3 und 6 sind solche ionosphärischen Restfehler dargestellt. Die metrische Einheit dieser Restfehler darf aber nicht dazu verleiten, diese eins zu eins auf das zu erwartende Koordinatenergebnis zu übertragen, da es sich lediglich um geschätzte ionosphärische Restfehler der durch die Vernetzung korrigierten GNSS-Beobachtungen handelt.

Um die Auswirkung ionosphärischer Störungen auf die HEPS-Performance (Initialisierungszeit und Positionierungsgenauigkeit) aufzudecken, bieten sich RTK-Monitorstationen an, die kontinuierlich und vollautomatisch HEPS-Messungen durchführen. Als Ergebnis liegen Zeitreihen über Positionierungsfehler und Initialisierungszeiten vor (siehe Abb. 4 und 7).

Zukünftig kann es also bei SAPOS<sup>®</sup>-Messungen hilfreich sein, das oben beschriebene Informationsmaterial zu nutzen. Zusätzlich empfiehlt sich bei Problemen ein Anruf bei der SAPOS<sup>®</sup>-Hotline.

### 3. Beispiel für weitgehend ungestörte Ionosphäre ohne Probleme bei HEPS Messungen (08.11.2011)

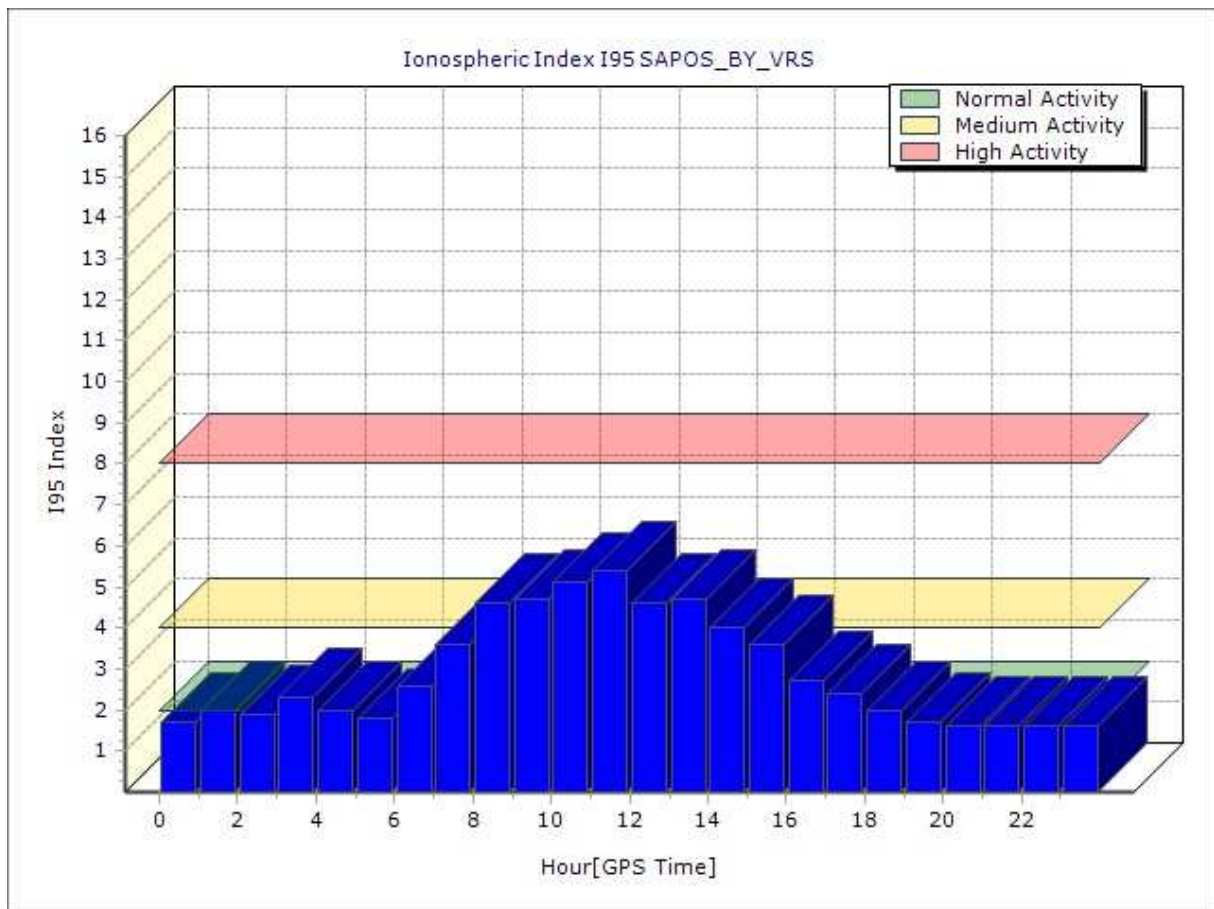


Abb. 2: I95-Index vom 08.11.2011

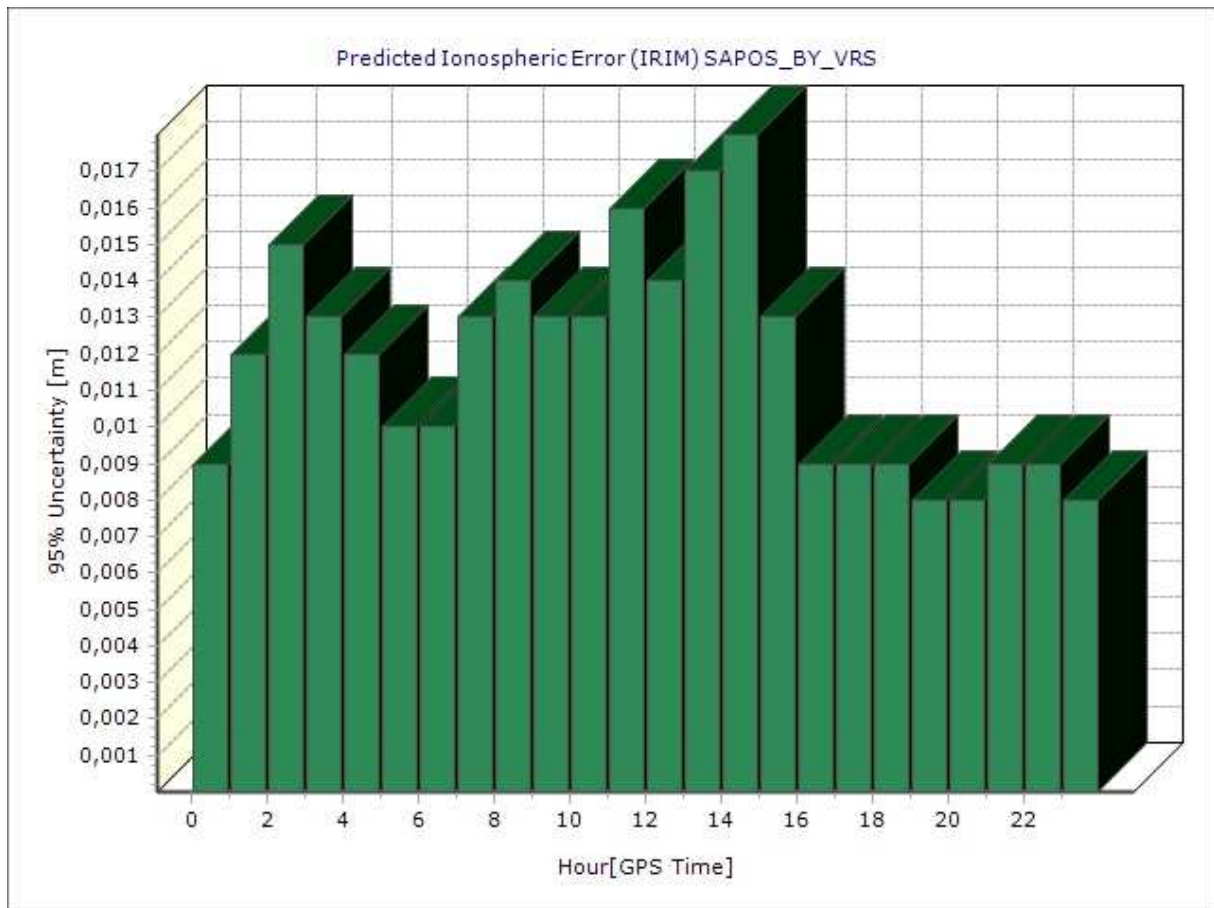


Abb. 3: In der Vernetzungssoftware geschätzte ionosphärische Restfehler vom 08.11.2011

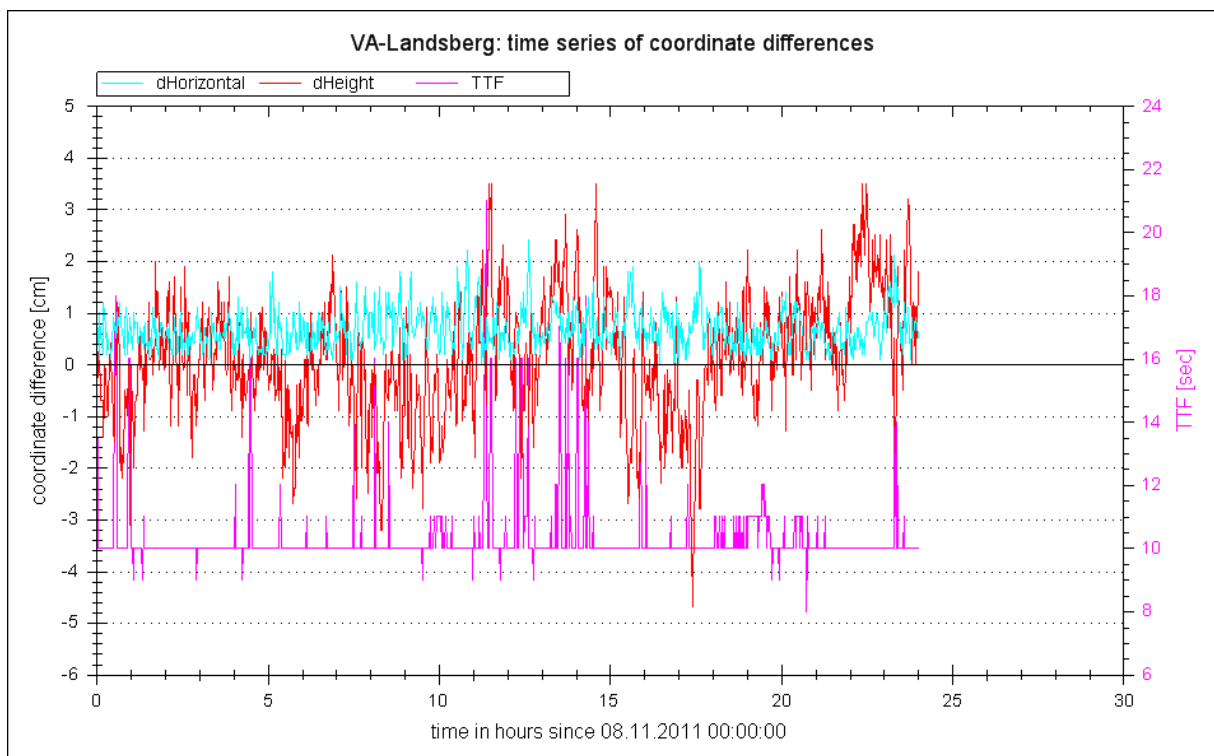


Abb. 4: Zeitreihengrafik der HEPS-Monitorstation Landsberg am Lech vom 08.11.2011

#### 4. Beispiel für gestörte Ionosphäre mit zeitweilig massiven Problemen bei HEPS Messungen (03.11.2011)

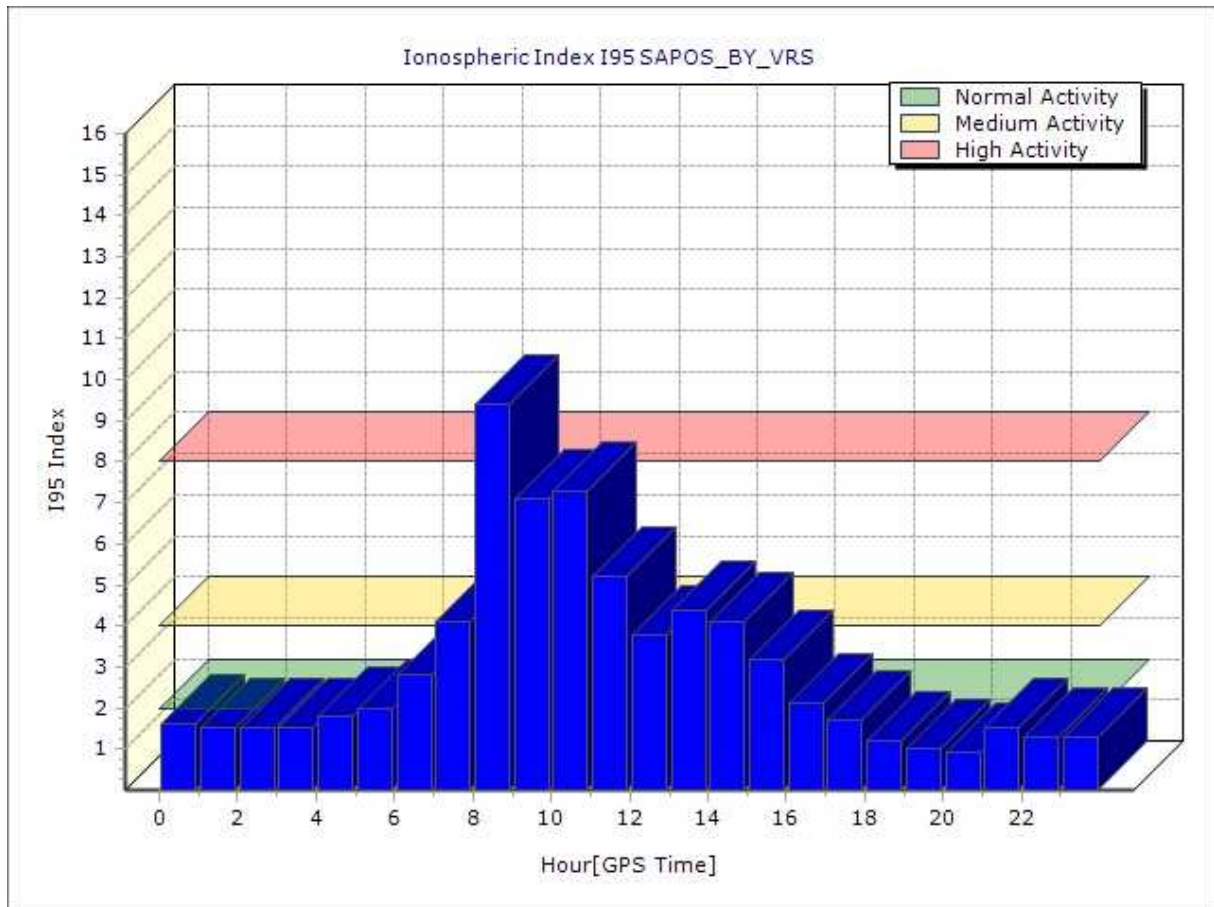


Abb. 5: I95-Index vom 03.11.2011

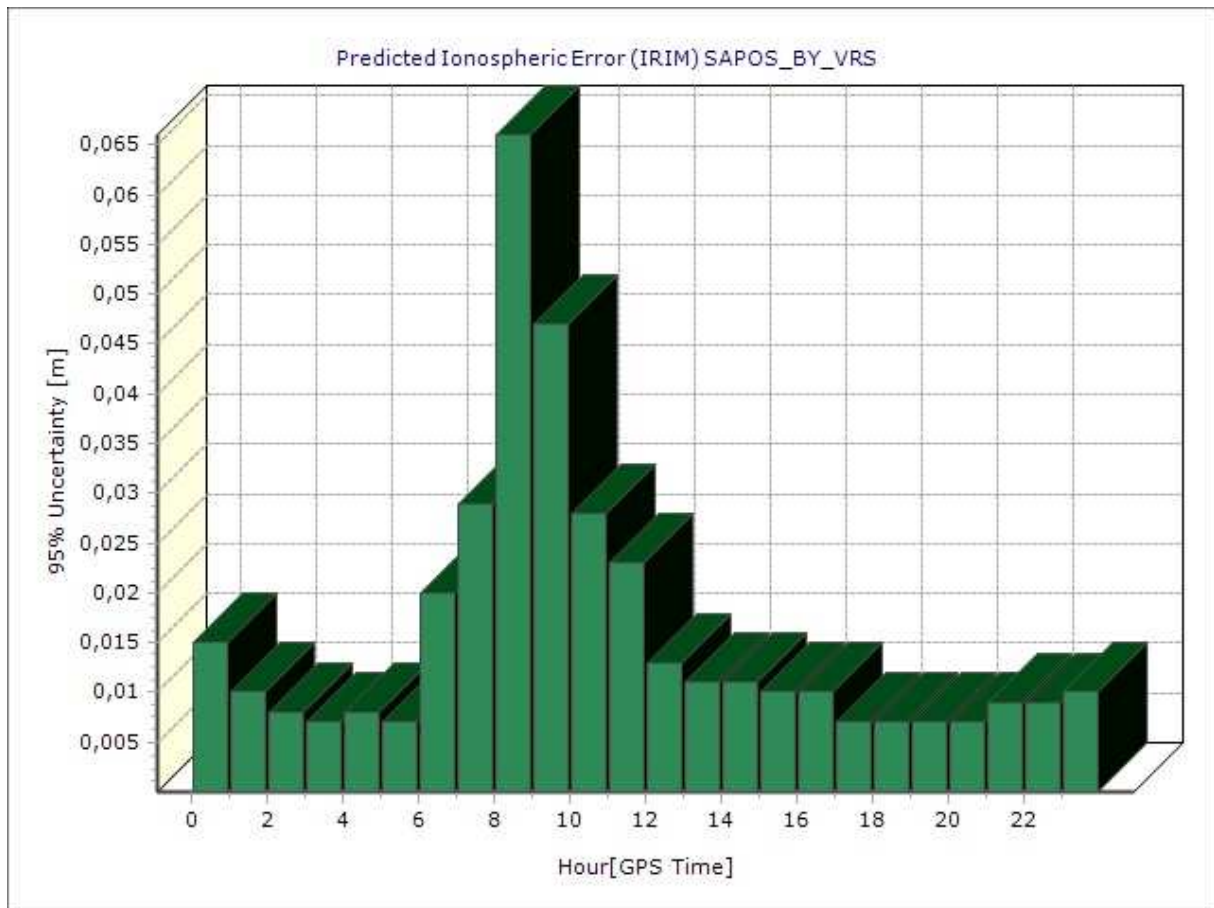


Abb. 6: In der Vernetzungssoftware geschätzte ionosphärische Restfehler vom 03.11.2011

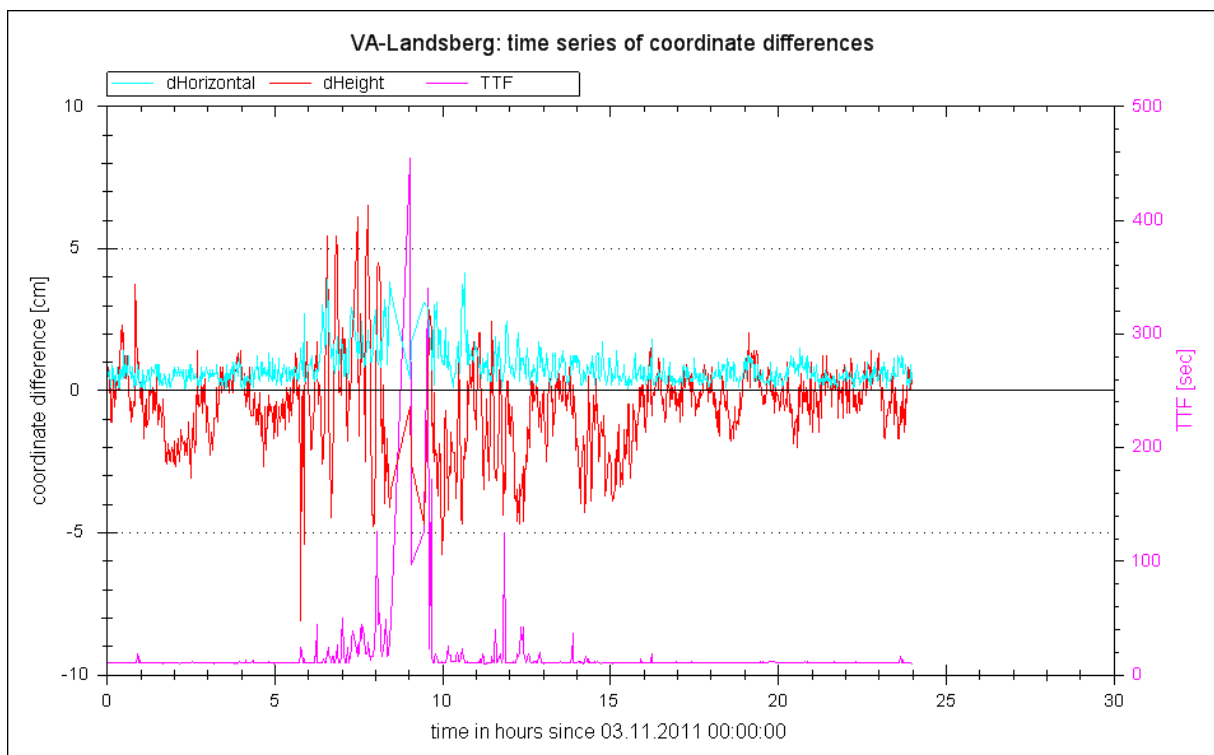


Abb. 7: Zeitreihengrafik der HEPS-Monitorstation Landsberg am Lech vom 03.11.2011 (Zeiträume ohne erfolgreiche Initialisierung zwischen 8 und 10 Uhr UTC)

#### 4. Empfohlene Abhilfemaßnahmen für SAPOS®-Nutzer

Wenn Sie während Zeiten hoher ionosphärischer Einflüsse bzw. starker Modellinkonsistenzen SAPOS-RTK-Messungen durchführen, empfehlen wir folgende Maßnahmen zur Verbesserung der Genauigkeit und der Verfügbarkeit hochpräziser Echtzeitpositionen:

- Achten Sie auf aktuelle Firmware in Ihrem RTK-Endgerät. Die Hersteller entwickeln die RTK-Lösungsalgorithmen permanent weiter und verbessern zurzeit auch die Berechnungsabläufe hinsichtlich der Resistenz gegenüber steigendem Fehlerhaushalt.
- Führen Sie Doppel- bzw. Mehrfachmessungen zu versetzten Tageszeiten durch und achten Sie auf die innere Genauigkeit bei der Mittelbildung. Dadurch lassen sich schnell Fehllösungen aufdecken bzw. die Genauigkeit durchgreifend steigern.
- Vermeiden Sie in Zeiten sehr starker Fehlereinflüsse Messungen in großen Abständen zur nächsten Referenzstation oder weichen Sie zu diesen Zeiten auf Postprocessing-Verfahren aus (10 – 15 min Beobachtungsintervalle). In direkter Nachbarschaft (<10 – 15 km) zur nächsten Referenzstation ist die RTK-Performance in der Regel nicht eingeschränkt.