

# VERBESSERTES IONOSPÄREN-KORREKTUR-MODELL FÜR GALILEO

## Motivation

Einfrequenz-Navigationsnutzer haben die Möglichkeit ionosphärisch bedingte Signalverzögerungen durch Korrekturmodelle zu minimieren, wobei die für das Modell benötigten Parameter von fast allen GNSS mit der Satellitennachricht mitgeliefert werden. Das bei Galileo verwendete Modell wird als NeQuickG bezeichnet und basiert auf drei Eingangsparametern (Az-Parameter) für den effektiven Ionisierungsgrad. Der Auswertalgorithmus des NeQuickG-Modells ist ausgesprochen umfangreich, weswegen er für Navigationsanwendungen nur bedingt geeignet ist. Das Neustrelitz TEC Model (NTCM-GIAzpar) wurde als alternativer Auswertalgorithmus vorgeschlagen. Dieses arbeitet mit den selben Az-Parametern und soll im Folgenden untersucht werden.

## Untersuchungskonzept

Zunächst wurde der NTCM-GIAzpar Algorithmus softwaretechnisch umgesetzt, sodass aus den drei Eingangsparametern tägliche, globale Ionosphärenkorrekturen berechnet werden konnten. Die Ionosphärenkorrekturen wurden als totaler Elektronengehalt (Total Electron Content, TEC) im IONospheric map Exchange format (IONEX-Format) gespeichert und mit den IONEX-Dateien des International GNSS Service (IGS) verglichen, die als Sollwerte dienen. Auch die Ionosphärenkorrekturen von Galileo NeQuickG und GPS Klobuchar wurden mit dem IGS Produkt verglichen. Die Abweichungen der einzelnen Algorithmen zum Sollwertmodell dienen als Maß für die Qualität der Modelle.

Um statistisch gesicherte Aussagen über die Modelle treffen zu können, wurde ein Untersuchungszeitraum festgelegt. Dieser belief sich auf das Jahr 2020, für welches aus jedem siebten Tag ein tagesbezogenes globales Ionosphärenmodell aus allen drei Algorithmen erzeugt wurde. Der Aufbau der Ionosphäre sowie ihre Anfälligkeit für Störungen und Inhomogenitäten ist stark von der solaren Aktivität abhängig. Deswegen wurden zusätzlich Tage mit besonderen solaren Ereignissen untersucht. Die vollständige Stichprobe aller Tage ist in Tab. 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Stichprobe der Untersuchung, Tage im Jahr 2020

Tag des Jahres	Auswahlgründe
1, 8, 15, ..., 365	Stichprobe
150, 301, 303, 310, 313, 328, 334, 342	Tage mit Sonneneruption
267 - 274	Tage mit erhöhter Sonnenwindgeschwindigkeit, September
296 - 305	Tage mit erhöhter Sonnenwindgeschwindigkeit, Oktober

Für alle Tage wurden die TEC-Unterschiede der einzelnen Algorithmen zum IGS-Produkt berechnet. In der Auswertung wurden dann zum einen diese absoluten Differenzen und zum anderen die prozentualen Anteile der Differenzen an den Sollwerten betrachtet. Letztere erlauben Aussagen darüber, zu wie viel Prozent der TEC-Wert eines Algorithmus dem Sollwert entspricht.

Zur weiteren Zusammenfassung wurden sowohl für die absoluten Differenzen als auch für die prozentualen Anteile breitenabhängige quadratische Mittelwerte (RMS) gebildet.

## Ergebnisse

Abb. 1 zeigt die absoluten Differenzen zum Sollwertprodukt von NTCM-GIAzpar und Galileo NeQuickG. Es ist erkennbar, dass NTCM-GIAzpar am Äquator und in den mittleren Breiten geringere Abweichungen erzeugt als Galileo NeQuickG. In den Polregionen unterscheiden sich die Algorithmen wenig voneinander. Das Galileo NeQuickG-Modell zeigt bei 20° nördlicher Breite über das gesamte Jahr eine Anomalie. Diese könnte in einem Programmierfehler begründet sein, wurde jedoch nicht weiter untersucht.

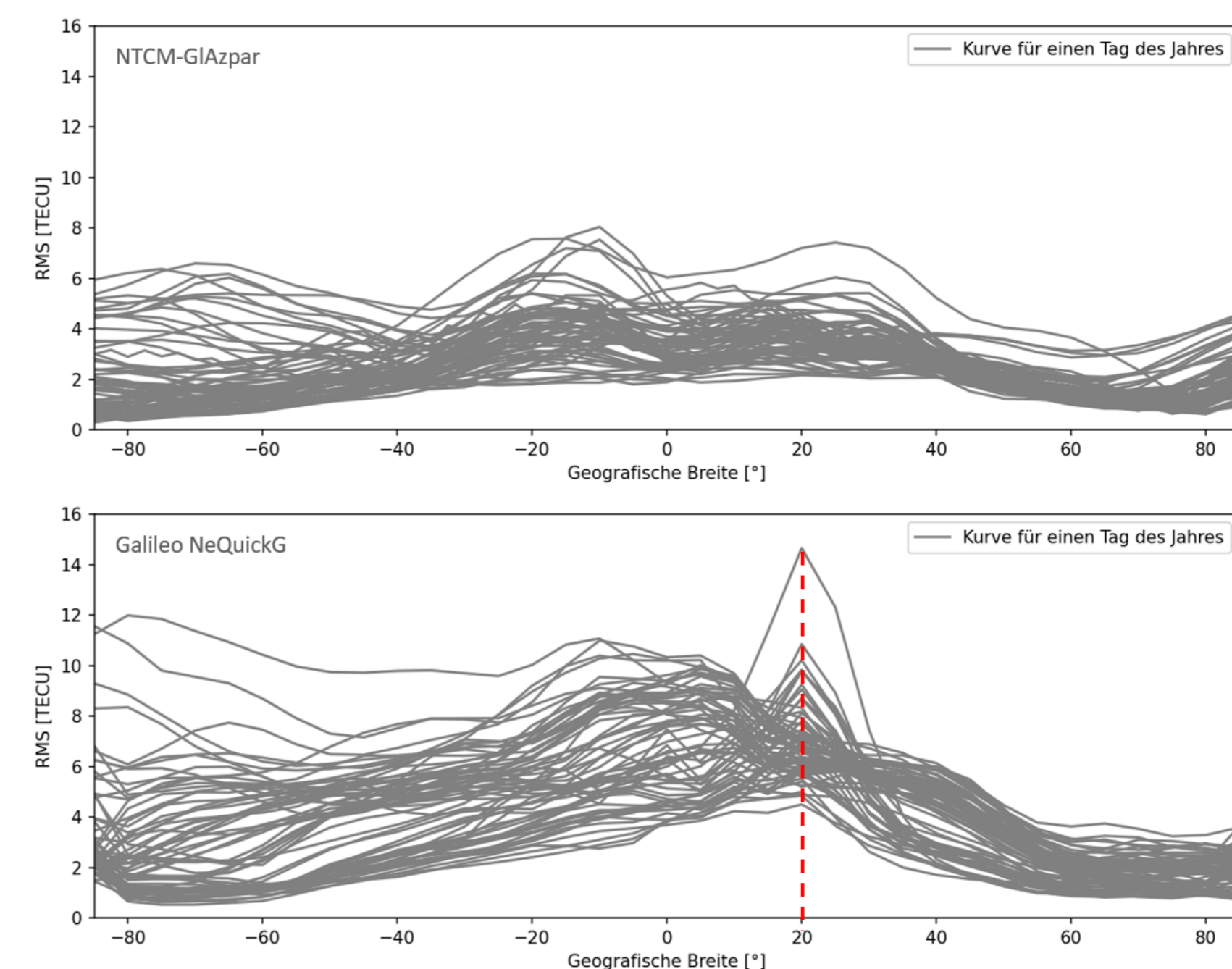


Abb. 1: Absolute Differenzen zum IGS-Produkt für NTCM-GIAzpar (oben) und NeQuickG (unten)

Abb. 2 zeigt die prozentualen Anteile der Abweichungen zum Sollprodukt. Die TEC-Werte beider Algorithmen fallen in der Äquatorregion sowie in mittleren Breiten bis zu 50% höher bzw. niedriger aus. Beide Algorithmen unterscheiden sich hier lediglich in den Polregionen stärker voneinander.

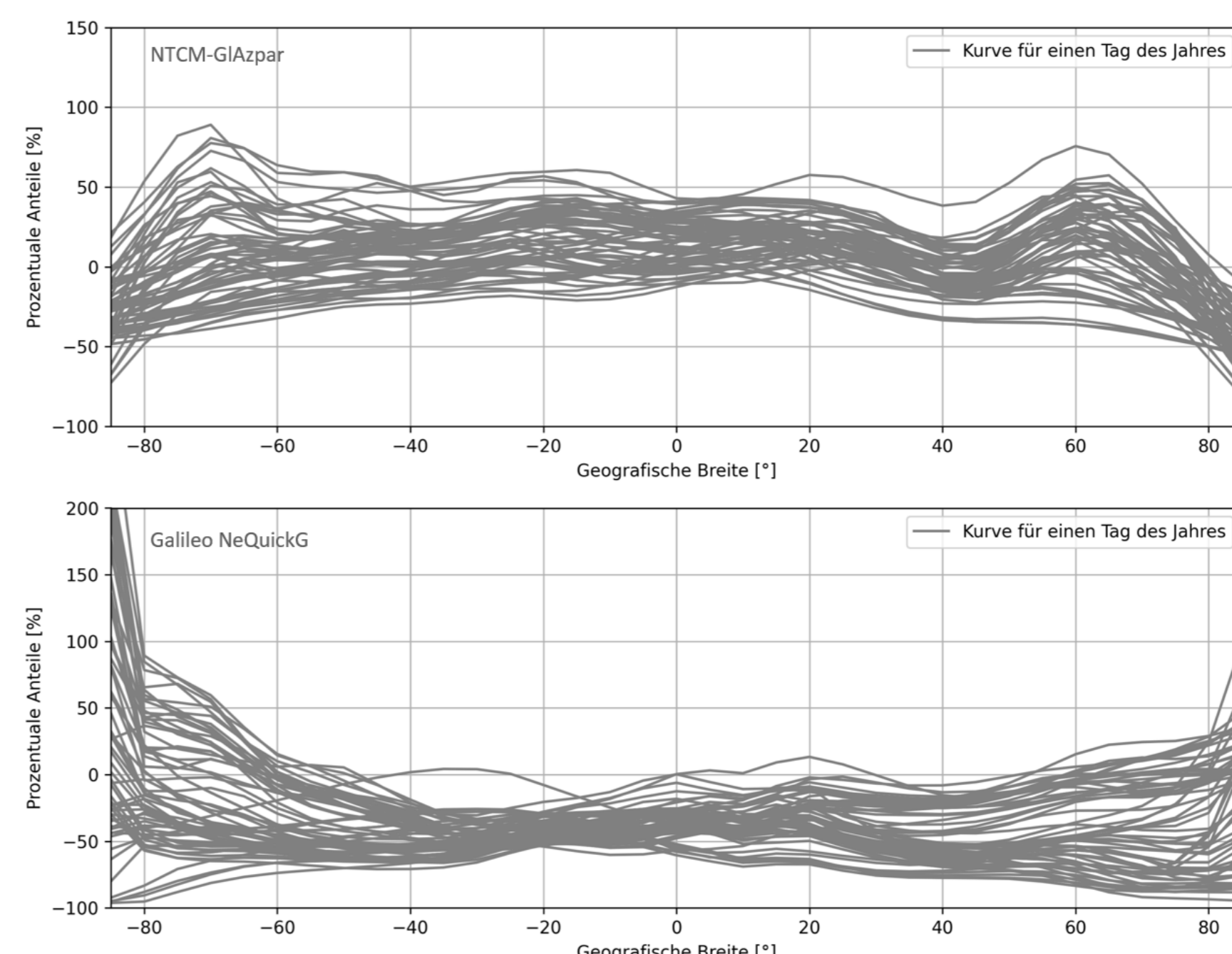


Abb 2: Abweichungen zwischen NTCM-GIAzpar (oben) bzw. Galileo NeQuickG (unten) und dem Sollprodukt als prozentuale Anteile am Sollprodukt

Die Streuungen der TEC-Differenzen zum Sollprodukt wurden aus den quadrierten breitenabhängigen RMS (vgl. Abb. 1) gebildet. In Abb. 3 ist zu sehen, dass NTCM-GIAzpar die geringste Streuung in allen Breiten aufweist.

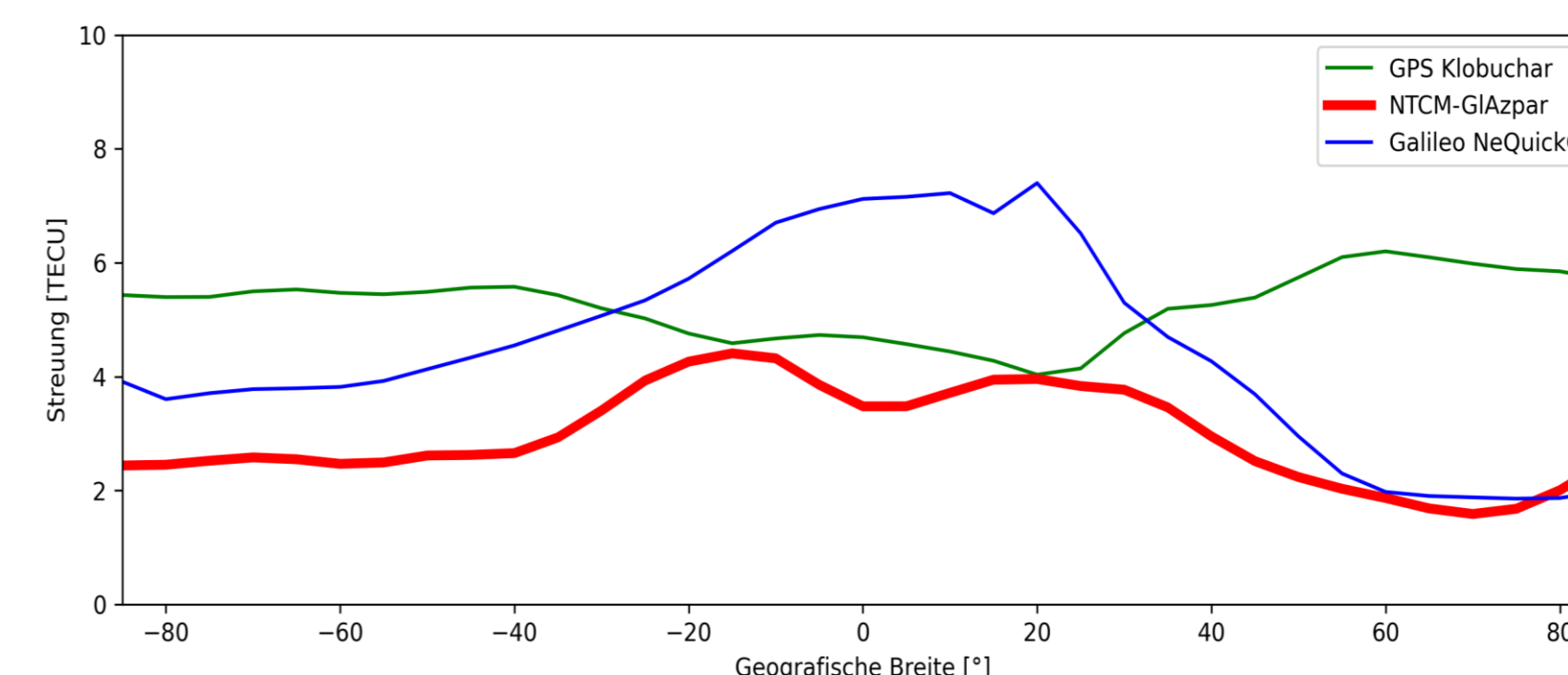


Abb. 3: Streuung der Algorithmen zum Sollmodell

## Fazit und Ausblick

Der NTCM-GIAzpar Algorithmus ist in der Lage Ergebnisse von ähnlicher Qualität zu erzeugen wie Galileo NeQuickG. Eine Untersuchung bei leichten Störungen in der Ionosphäre ergab keine Hinweise auf gesteigerte Differenzen zum Sollwertmodell. Für schwere Störungen und Ionosphärenstürme müssen Jahre mit höherer Sonnenaktivität untersucht werden. Eine jahreszeitliche Betrachtungsweise ergab Hinweise auf eine Schwäche der Algorithmen zur Zeit des Südsommers (November bis Januar). Eine Analyse über weitere Jahre kann dazu Klarheit schaffen.