

Die Ionosphärenkorrekturmodelle von BeiDou

Einleitung

Das chinesische Satellitennavigationssystem BeiDou besteht derzeit aus fünf Satelliten auf geostationären Orbits (GEO), fünf Satelliten auf inkliniert geosynchronen Orbits (IGSO) und vier Satelliten in mittleren Erdorbits (MEO) und stellt einen regionalen Navigationsdienst im asiatisch-pazifischen Raum bereit.

In das BeiDou-System ist mit den GEO-Satelliten ein satellitengestütztes Ergänzungssystem (SBAS) integriert, welches Informationen zur Integrität und Verfügbarkeit der einzelnen Satelliten zur Verfügung stellt. Weiterhin ist in den SBAS-Daten ein regionales Ionosphärenkorrekturmodell enthalten, welches in einem längen- und breitenabhängigen Gitter vorliegt. Alle Satelliten des BeiDou-Systems senden außerdem ein globales Acht-Parameter-Modell der Ionosphäre aus.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Qualität der beiden mitgelieferten Ionosphärenmodelle bezogen auf einen Zeitraum von je einer Woche im März und im Juni 2014 untersucht. Als Referenzmodell wurde das finale Ionosphärenprodukt des *International GNSS Service* (IGS) herangezogen.

Acht-Parameter-Modell

Das Acht-Parameter-Modell basiert genauso, wie das GPS-Ionosphärenmodell, auf dem Modell von Klobuchar. Im Gegensatz zum klassischen Modell von Klobuchar, welches einen geomagnetischen Bezug verwendet, bezieht sich das chinesische Acht-Parameter-Modell auf das geografische Referenzsystem. Im Untersuchungszeitraum traten ein- bis zweistündige Aktualisierungsintervalle der Modellparameter auf.

Bei der globalen Betrachtung der Abweichungen des Acht-Parameter-Modells zum IGS-Modell weisen die Nord- und Südhalbkugel, während der Märzwoche, mit einem RMS-Wert von 17,9 TECU, gleiche Genauigkeiten auf. In der Juniwoche sind die Abweichungen auf der Südhalbkugel mit 14,5 TECU dagegen signifikant größer als auf der Nordhalbkugel mit 6,4 TECU (Abb. 1).

Insbesondere in den Polarregionen und am geografischen Äquator weist das Acht-Parameter-Modell große Abweichungen zum IGS-Modell auf. Vermutlich liegt die Ursache dafür in den fehlenden Beobachtungsstationen außerhalb Chinas, wodurch die Modellparameter für diese Regionen nur unzureichend bestimmt sind.

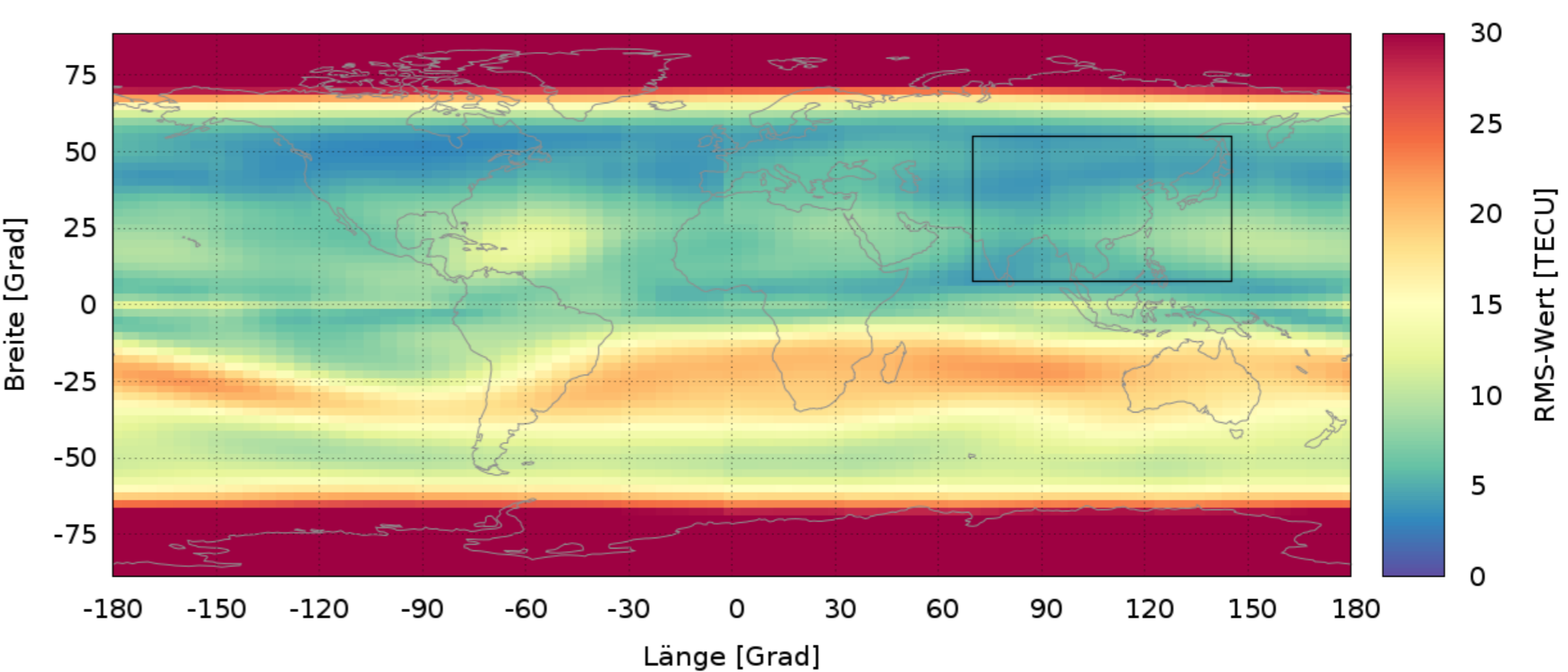
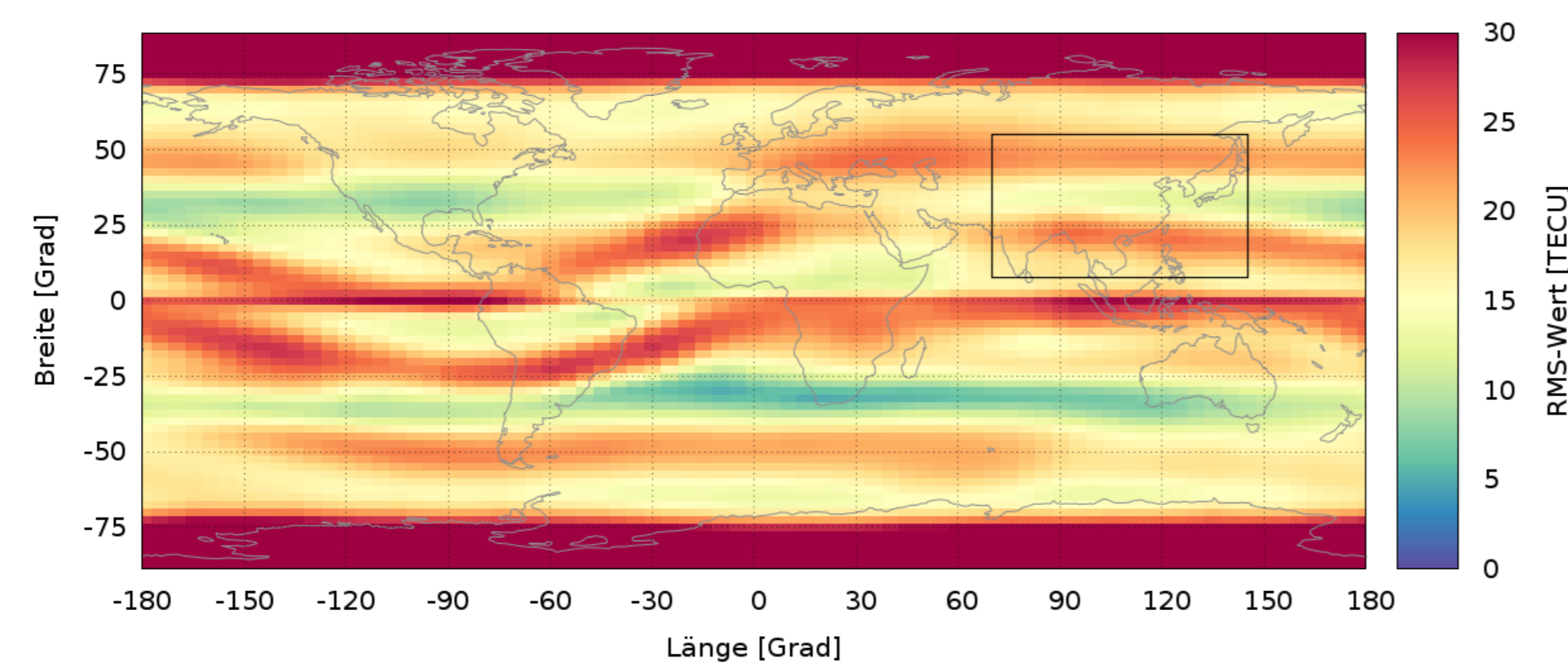


Abb. 1: RMS-Werte der Differenzen des Acht-Parameter-Modells zum IGS-Modell in Woche 12 (links) und Woche 25 (rechts) des Jahres 2014. Zur Orientierung ist der Bereich des regionalen Gittermodells schwarz eingrahmt dargestellt.

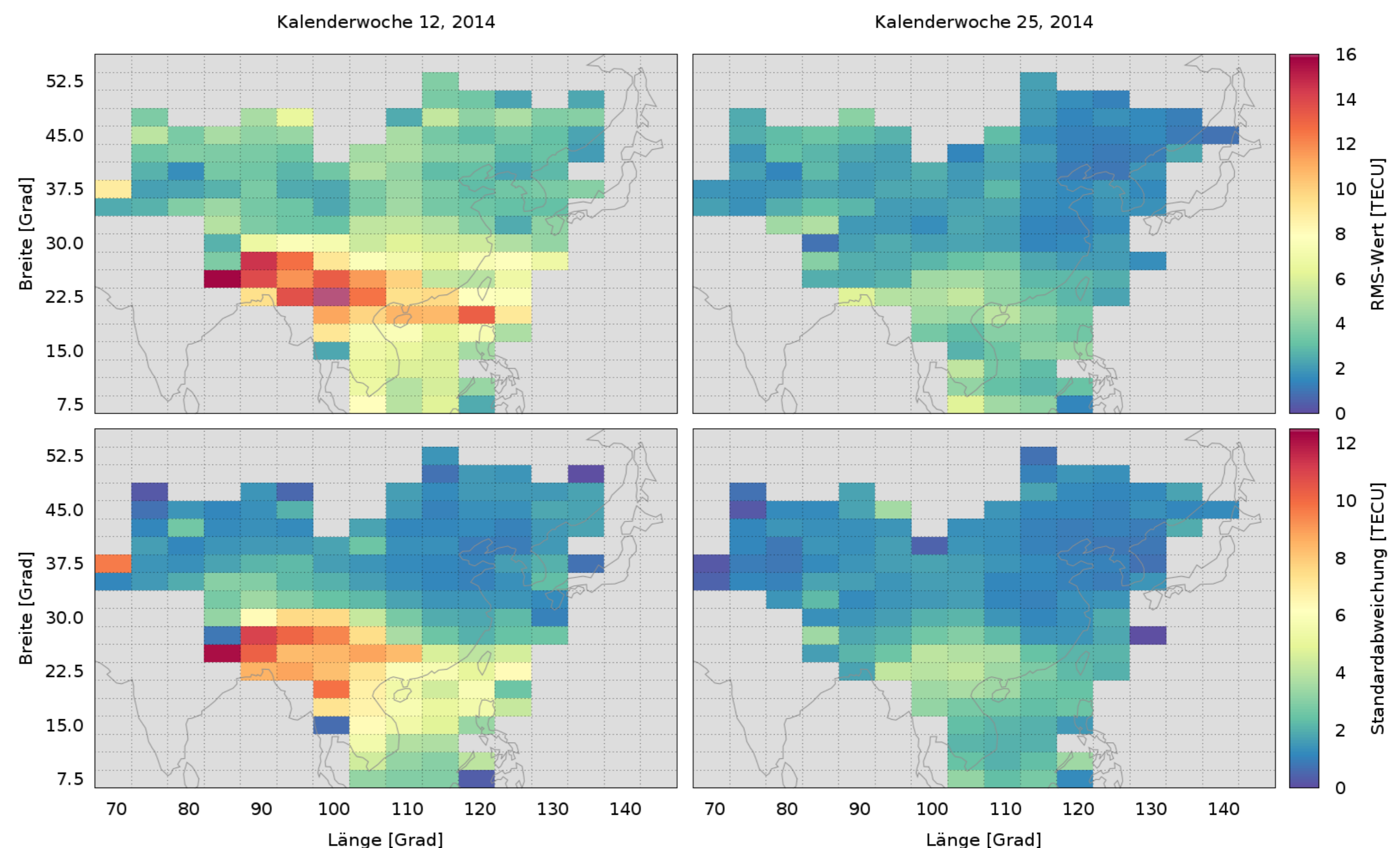


Abb. 2: RMS-Werte und Standardabw. der Differenzen des regionalen Gittermodells zum IGS-Modell in Woche 12 und 25 (2014).

Es konnte gezeigt werden, dass das Acht-Parameter-Modell, bis zu einer geografischen Breite von 60°, eine ähnlich gute Genauigkeit bei der Erfassung des Zustands der Ionosphäre erreicht wie das GPS-Ionosphärenmodell.

Letztlich ist zu sagen, dass das Acht-Parameter-Modell von BeiDou ein geeignetes globales Modell der Ionosphäre bereitstellt, welches für die Korrektur eines Anteils der ionosphärischen Laufzeitverzögerung bei Einfrequenznutzern herangezogen werden kann.

Durch den Ausbau des Beobachtungsstationsnetzes, beim Übergang zum globalen Navigationssystem, ist anzunehmen, dass die Modellgenauigkeit am Äquator und in den höheren Breiten zusätzlich steigt.

Regionales Gittermodell

Das regionale Gittermodell umfasst einen Bereich von 7,5° bis 55° nördlicher Breite und 70° bis 145° östlicher Länge. Die Auflösung beträgt in der Länge 5° und in der Breite 2,5°. Das Gittermodell wird alle sechs Minuten aktualisiert und übertragen.

Zum regionalen Gittermodell wurden einige Voruntersuchungen zur Verfügbarkeit und Varianz der aufeinanderfolgenden Einzelmodelle durchgeführt. Diese Untersuchungen dienen in erster Linie dazu, die Variabilität der aufeinander-

folgenden Modelle einschätzen zu können.

Das Gittermodell weist eine sehr hohe Verfügbarkeit im Raum China auf, außerhalb der Landesgrenzen sind jedoch nur vereinzelt Gitterpunkte mit Daten gefüllt (Abb. 2).

Die Schwankungen der aufeinanderfolgenden sechsminütigen Modelle sind gering. Größere Änderungen der Modellwerte treten hauptsächlich im südlichen Teil Chinas in den Nachmittagsstunden zum Aktivitätsmaximum der Ionosphäre auf.

Der anschließende direkte Vergleich des regionalen Gittermodells mit dem IGS-Modell zeigt einen RMS-Wert von 6,2 TECU in der Märzwoche und 2,8 TECU in der Juniwoche. Hierbei zeigen sich klare Unterschiede zwischen dem Norden und dem Süden Chinas (Abb. 2).

Im Süden befindet sich die Äquatorregion, die durch eine hohe Variabilität des Elektronengehaltes gekennzeichnet ist. Ob an diesen Stellen das BeiDou-Modell oder das IGS-Modell die genaueren Werte anzeigt, ist mit den vorliegenden Daten leider nicht endgültig festzulegen.

Letztlich zeigen die ermittelten Differenzen zum IGS-Modell, dass das regionale Gittermodell ähnlich gute Genauigkeiten aufweist wie das amerikanische *Wide-Area Augmentation System* (WAAS) und der *European Geostationary Navigation Overlay Service* (EGNOS).