

EVALUIERUNG IONSPHÄRISCHER KORREKTURMODELLE FÜR GNSS IN ZEITRÄUMEN EXTREMER IONOSPHERISCHER VERHÄLTNISSE

Motivation

Die präzise Positionsbestimmung mittels GNSS ist für viele moderne Anwendungen von entscheidender Bedeutung, wird jedoch stark durch den Elektronengehalt der Ionosphäre beeinflusst. In Zeiten hoher Sonnenaktivität können extreme ionosphärische Bedingungen auftreten, welche die Genauigkeiten der GNSS-Positionsbestimmung für Einfrequenznutzer beeinträchtigen und Konvergenzzeiten im Precise Point Positioning (PPP) verlängern können. Verschiedene Ionosphärenmodelle versuchen diese Einflüsse möglichst zu minimieren.

Arbeitsschritte

Es wurden GNSS-Daten von den in Abbildung 1 gezeigten Permanentstationen, gelegen in unterschiedlichen SBAS-Gebieten, aus dem Jahr 2023 verwendet, um Tage starker ionosphärischer Einflüsse für diese Stationen zu identifizieren und die Korrekturwirkung der Echtzeit-SBAS-Modelle untersuchen zu können. Ebenso wurden mit diesen Broadcast-Modelle aus den Satellitennachrichten sowie die unterschiedlich zeitlich verzögerten Modelle des Internationalen GNSS-Service (IGS) auf ihre Genauigkeit untersucht.

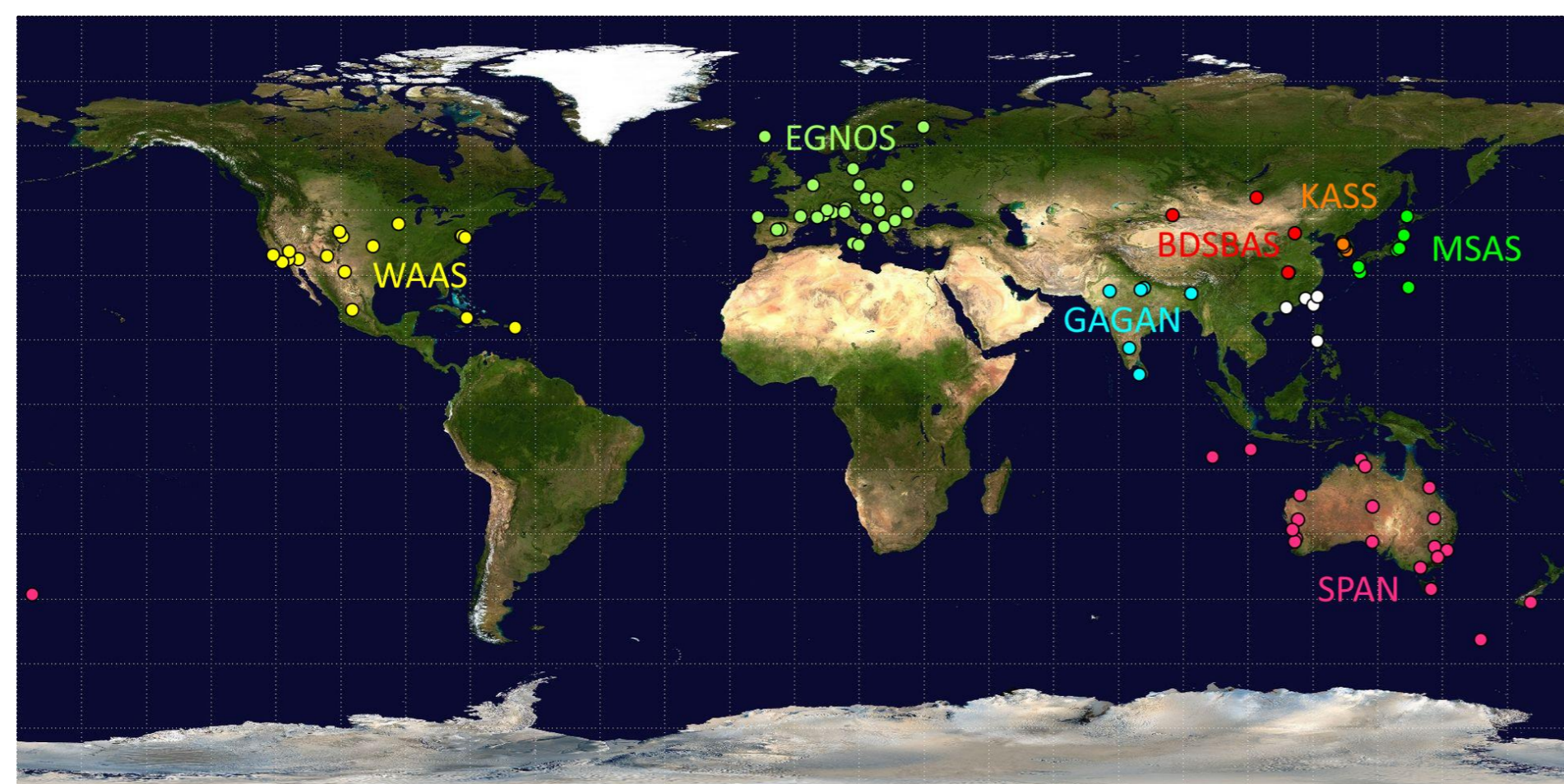


Abb. 1: Lage der verwendeten GNSS-Stationen mit zugehörigem SBAS-System (weiß ohne).

Die vom Deutschen Geoforschungszentrum Potsdam bereitgestellten Messungen von Anomalien im planetaren Magnetfeld halfen die Tage einzugrenzen, welche auf extreme ionosphärische Aktivitäten untersucht werden mussten. Dabei wurde ein stündlicher totaler vertikaler Elektronengehalt (VTEC) aus den GNSS-Daten der Stationen während der PPP-Auswertung abgeschätzt. Bei Tagen extremer ionosphärischer Aktivitäten zeigten sich stark variierende VTEC-Werte im Vergleich zu den umliegenden Tagen. Abbildung 2 zeigt die gewählten Tage zweier Stationen und die Unterschiede zu den Tagen davor und danach.

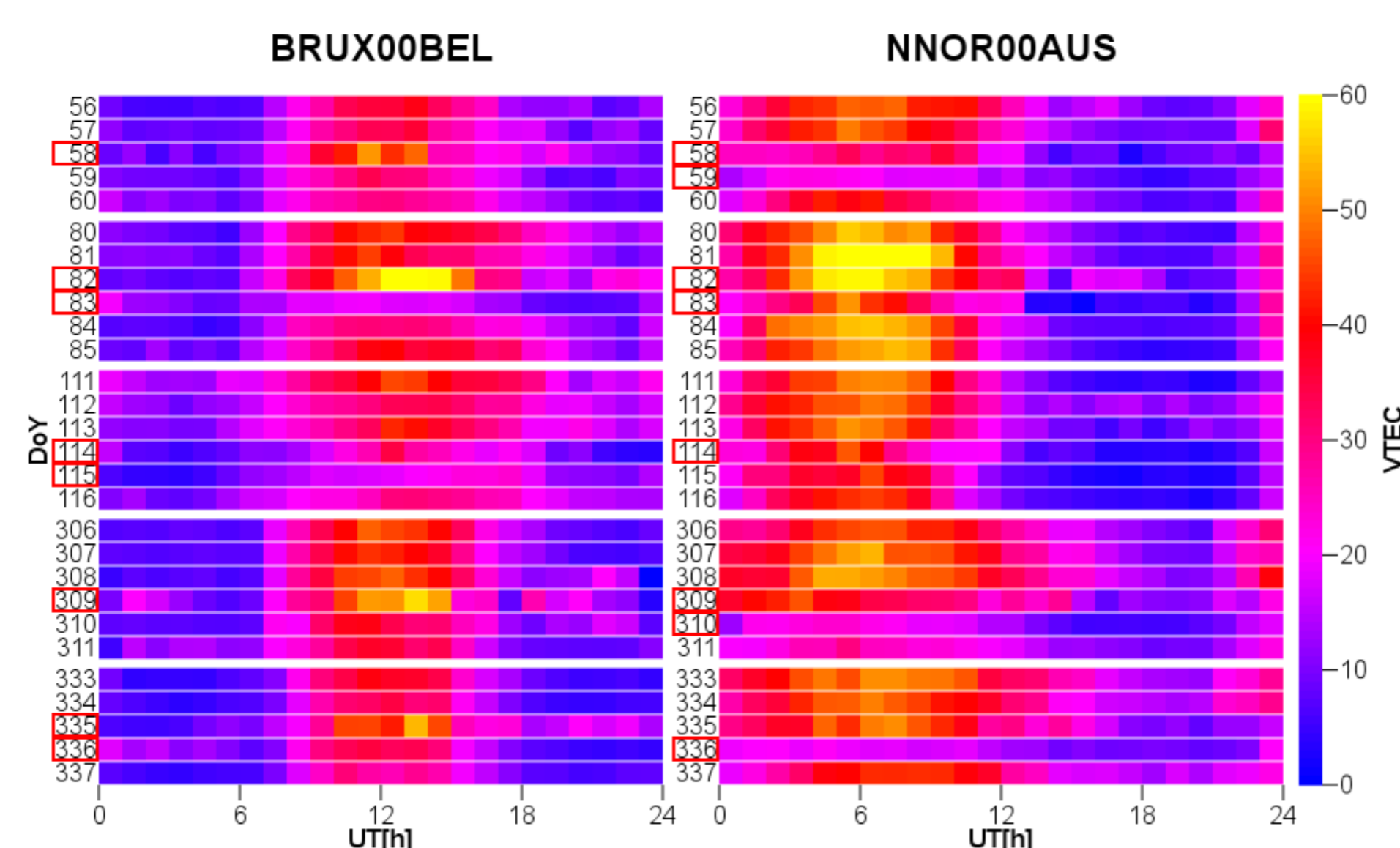


Abb. 2: VTEC-Werte zweier Stationen um potenzielle Tage hoher ionosphärischer Aktivitäten herum. Für die Auswertung verwendete Tage sind rot markiert.

Als nächstes wurden die ionosphärischen Korrekturmodelle bei einer erneuten PPP-Auswertung angewandt. Diesmal stellte die geschätzte Ionosphäre

aus den Messdaten die nicht von dem Modell geschätzte Restionosphäre dar und zeigte, wie gut das jeweilige Modell die Ionosphäre korrigiert hat. Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse für Tag 82 der IGS-Station Brüssel und das jeweilige quadratische Mittel (RMS) der VTEC-Werte der Modelle über den Tag, was letztendlich als Vergleich für die Genauigkeit dient.

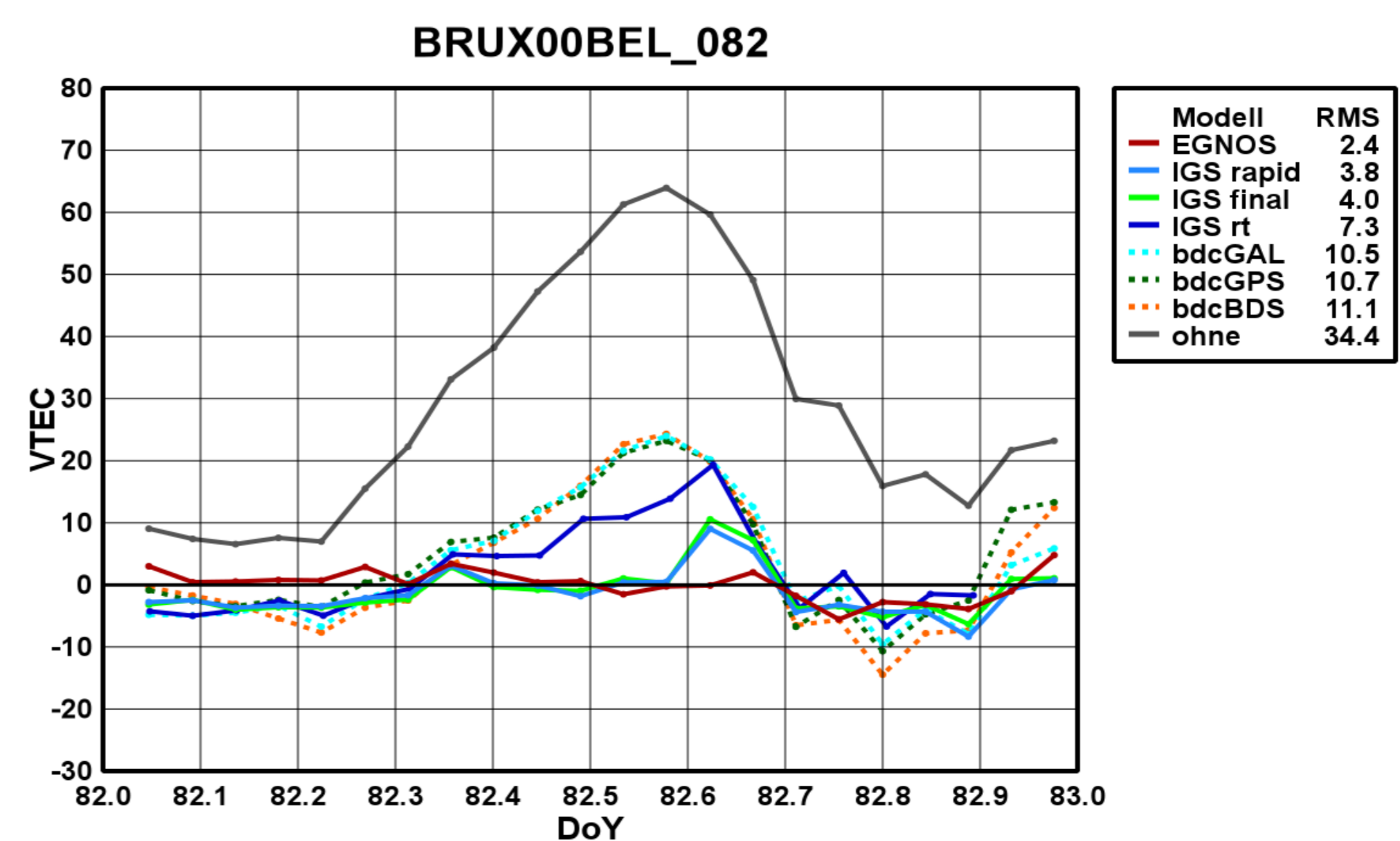


Abb. 3: Restionosphäre verschiedener Ionosphärenmodelle aus Beobachtungsdaten der IGS-Station in Brüssel über ein Tag mit hoher ionosphärischer Aktivitäten und deren quadratisches Mittel im Vergleich.

Ergebnisse

Es hat sich gezeigt, dass die SBAS-Systeme in der Lage waren, zwischen ca. 80% und 90% der ionosphärischen Einflüsse auf GNSS-Signale bei den untersuchten Stationen zu korrigieren. Am besten schnitten dabei das europäische System EGNOS und das japanische System MSAS ab. Sie übertrafen die IGS-Modelle, die eine Korrektur von etwa 64% bis 80% erreichten, wobei die zeitlich verzögerten Modelle des IGS ein erwartungswises besseres Ergebnis lieferten als das Echtzeitmodell. Die mit den Satellitennachrichten mitgelieferten Echtzeitmodelle konnten ca. 60% korrigieren, wobei das chinesische BDS mit ca. 50% und das indische System IRN mit 40% schlechter abschnitten. Tabelle 1 zeigt alle Ergebnisse zusammengefasst.

Tab. 1: mittlere Korrekturleistung und Abdeckung der untersuchten Ionosphärenmodelle

Modelltyp	Modell	Abdeckung	Mittel [% korr]	St.-abw. [% korr]	Anzahl Werte
echtzeit	EGNOS	Europa	88,8	0,4	209
	MSAS	Japan	88,4	0,7	58
	WAAS	Nordamerika	86,6	0,5	132
	BDSBAS	China	84,0	0,9	35
	SPAN	Australien	83,3	0,7	130
	KASS	Korea	80,6	0,6	58
	GAGAN	Indien	80,5	0,8	45
nachbearbeitet	IGS final	weltweit	79,5	0,3	727
	IGS rapid	weltweit	77,4	0,4	728
prädiziert	QZS	Japan	63,1	0,8	185
	GAL	weltweit	59,7	0,9	720
	GPS	weltweit	59,0	1,0	723
	BDS	weltweit	49,6	1,2	735
	IRN	Indien	39,1	3,8	45

Fazit

Die Untersuchung hat gezeigt, dass SBAS-Systeme in der Lage sind, die ionosphärischen Einflüsse auf GNSS-Signale besonders effektiv korrigieren, wobei sie in den meisten Fällen die IGS-Modelle und Broadcast-Modelle übertreffen. Dennoch bleibt auch bei diesen Systemen unter extremen Bedingungen weiteres Verbesserungspotential bestehen.