

Kombination von Beobachtungen unterschiedlicher Raumverfahren für die Erzeugung von VTEC Modellen

D. Dettmering, M. Schmidt

Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI), Munich, Germany

Email: dettmering@dgfi.badw.de



Kombination von Beobachtungen unterschiedlicher Raumverfahren für die Erzeugung von VTEC Modellen

1

Motivation

- Existierenden VTEC Karten basieren fast immer allein auf terrestrischen GNSS Messungen und Kugelfunktionsentwicklungen
- Genauigkeit über den Ozeanen vergleichsweise schlecht
- ⇒ Kombination verschiedener Datentypen (auch über den Ozeanen)
- ⇒ Andere Parametrisierungsansätze, die höhere Auflösung zulassen und auf lokalisierenden Funktionen beruhen

Inhalt

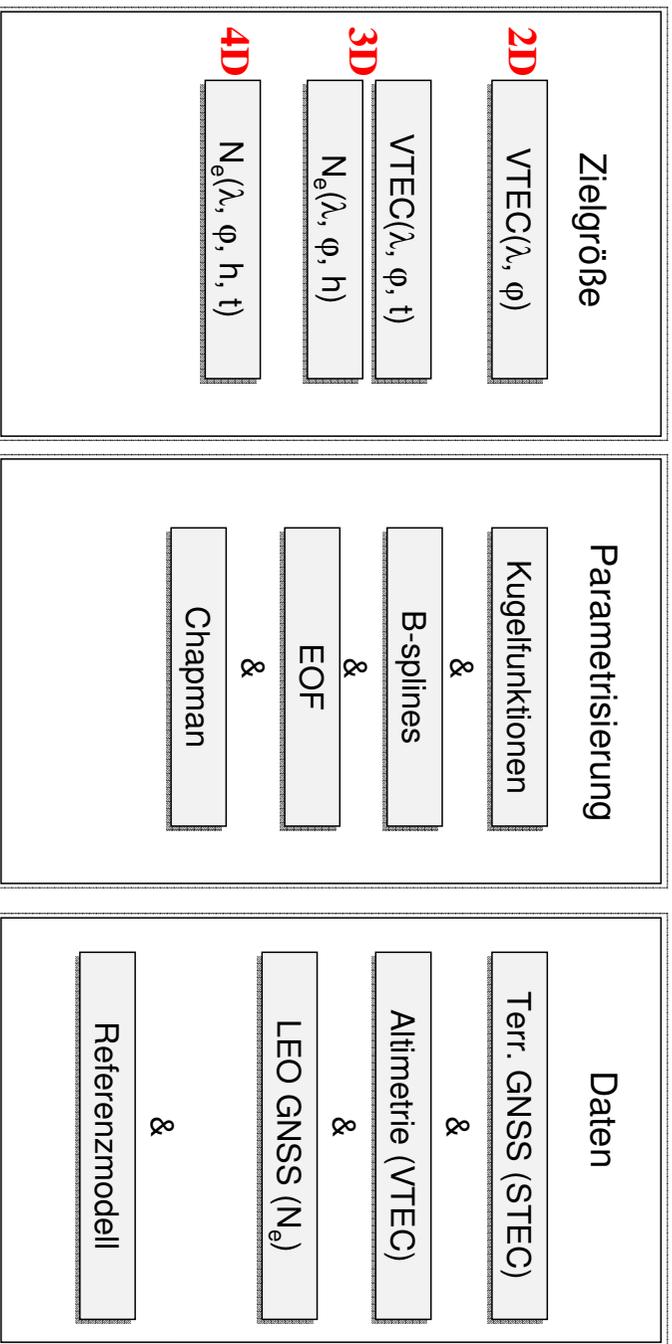
1. Ansatz und Modellparametrisierung
2. Beobachtungsdaten
3. Systematische Offsets zwischen den unterschiedlichen Beobachtungstypen
4. Regionale Unterstützung der IGS VTEC Karten



Kombination von Beobachtungen unterschiedlicher Raumverfahren für die Erzeugung von VTEC Modellen

2

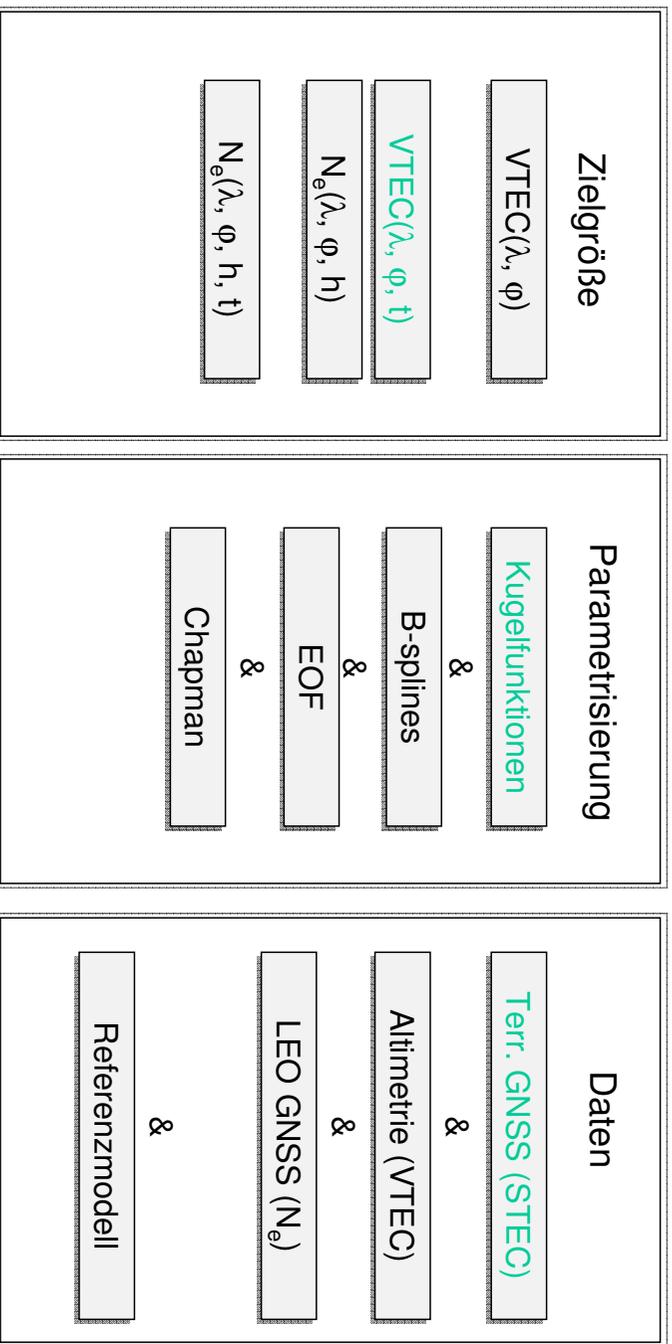
Multi-dimensionaler Modellansatz (Modell-Optionen)



Kombination von Beobachtungen unterschiedlicher Raumverfahren für die Erzeugung von VTEC Modellen

Modellansatz (CODE – 3D VTEC)

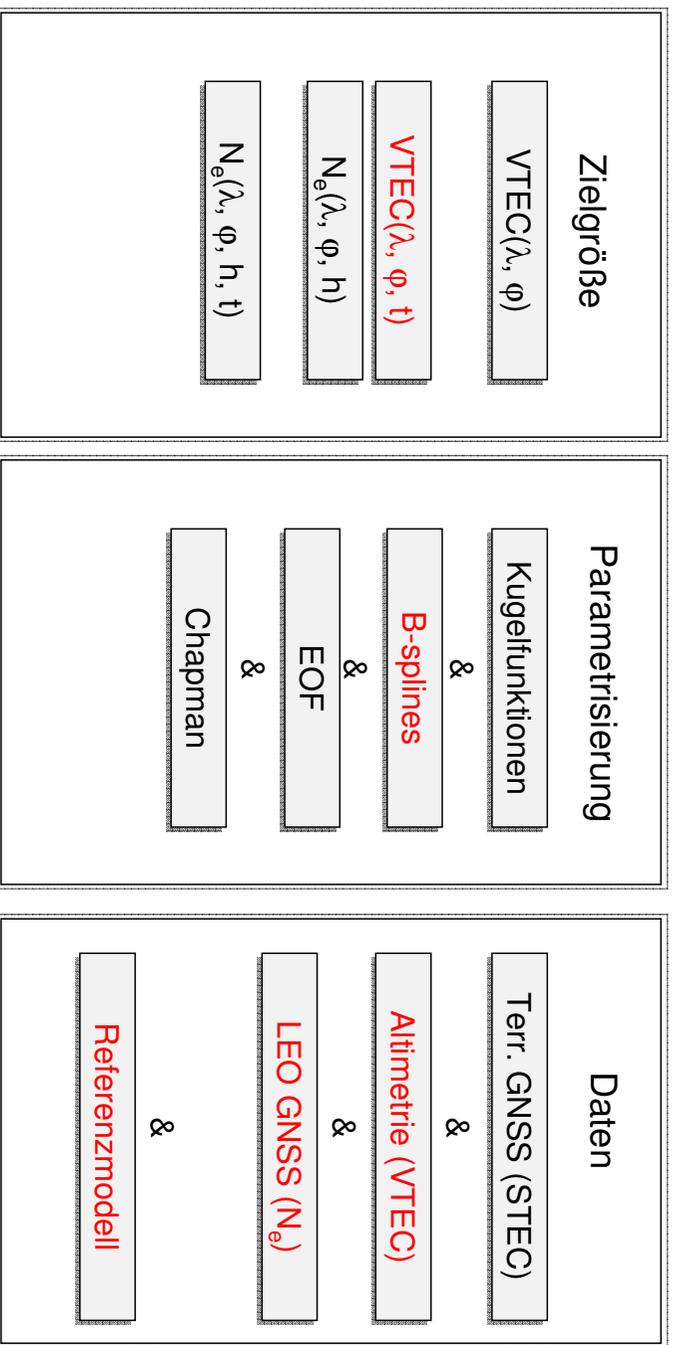
IGS



Kombination von Beobachtungen unterschiedlicher Raumverfahren für die Erzeugung von VTEC Modellen

Modellansatz (DGFI – 3D VTEC)

im folgenden



Kombination von Beobachtungen unterschiedlicher Raumverfahren für die Erzeugung von VTEC Modellen

3D B-Spline Ansatz

VTEC als Kombination von Referenzmodell und Korrekturmodell

$$VTEC(\varphi, \lambda, t) = VTEC_{ref}(\varphi, \lambda, t) + \Delta VTEC(\varphi, \lambda, t)$$

Referenzmodell: $VTEC_{ref}(\varphi, \lambda, t) \Rightarrow$ IGS GIM

$$\text{Korrekturmodell: } \Delta VTEC(\varphi, \lambda, t) = \sum_{k_1=0}^{K_1-1} \sum_{k_2=0}^{K_2-1} \sum_{k_3=0}^{K_3-1} d_{k_1, k_2, k_3} \phi_{k_1}^{j_1}(\varphi) \phi_{k_2}^{j_2}(\lambda) \phi_{k_3}^{j_3}(t)$$

Basisfunktionen: Tensor-Produkt dreier eindimensionaler „normierter endpunkt-interpolierter quadratischer B-splines“ \Rightarrow

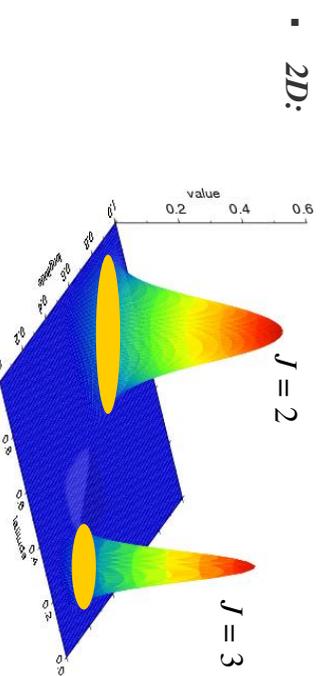
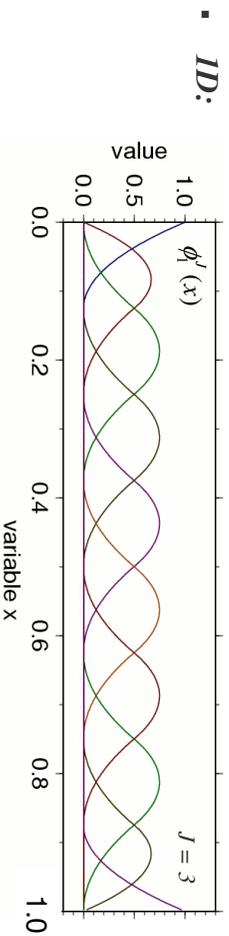
Beobachtungen: VTEC verschiedener Raumverfahren
Kombination über eine Varianzkomponentenschätzung \Rightarrow



Kombination von Beobachtungen unterschiedlicher Raumverfahren für die Erzeugung von VTEC Modellen

Basisfunktionen: B-splines

- normierte endpunkt-interpolierte quadratische B-spline Funktionen (level J)
- Kompakte Funktionen, kleine "non-zero" Zone (Einflusszone, Footprint) => lokalisierende Funktion



- 3D: die Einflusszone ist eine Kugel oder ein Ellipsoid (biaxial or triaxial)
 - Je höher der Level J , desto spitzer die Form ("der Hut")
 - Die Einflusszone in einer (x, y) -Ebene ist ein Kreise oder eine Ellipse



Kombination von Beobachtungen unterschiedlicher Raumverfahren für die Erzeugung von VTEC Modellen

Varianzkomponentenschätzung (VCE)

Wie soll die Gewichtung der unterschiedlichen Beobachtungsgruppen erfolgen?

- Iterative Schätzung einer Varianzkomponente σ_i für jede Beobachtungsgruppe i

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 P_1^{-1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 P_2^{-1} & & \\ \vdots & & \ddots & \\ 0 & 0 & & \sigma_k^2 P_k^{-1} \end{pmatrix}$$

$$\sigma_i^2 = \frac{e_i^T P_i e_i}{r_i}, \quad i \in \{1, \dots, k\} \quad \begin{matrix} e_i^i & \text{Gruppenresiduen} \\ P_i^i & \text{Gruppengewichtsmatrix} \end{matrix}$$

- Gruppenredundanzen r_i aus der Spur der "Beobachtungsgruppen Einflussmatrix" [Förstner, 1979]

$$r_i = n_i - \frac{1}{\sigma_i^2} \text{trace}(X_i^T P_i X_i N^{-1})$$

n_i : Anzahl der Beobachtungen in Gruppe i
 X_i : Designmatrix der Gruppe
 N : Normalgleichungsmatrix

- Monte-Carlo Lösung [Kusche, 2003]

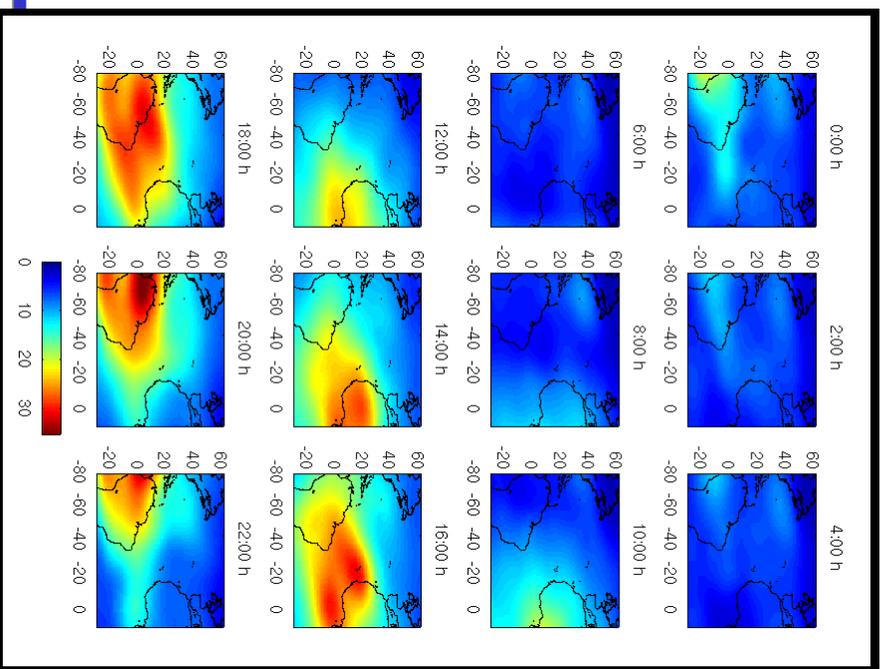


Kombination von Beobachtungen unterschiedlicher Raumverfahren für die Erzeugung von VTEC Modellen

Globale Ionosphärenkarten des IGS

- globale VTEC Karten
- 2h Intervall
- Kombination aus Produkten mehrerer Analysezentren
- Datengrundlage sind die Permanentstationen des IGS
- inklusive Genauigkeiten RMS Maps (zu optimistisch?)

01 März 2009
IGS (code:jpl,upc,esa)
Ausschnitt



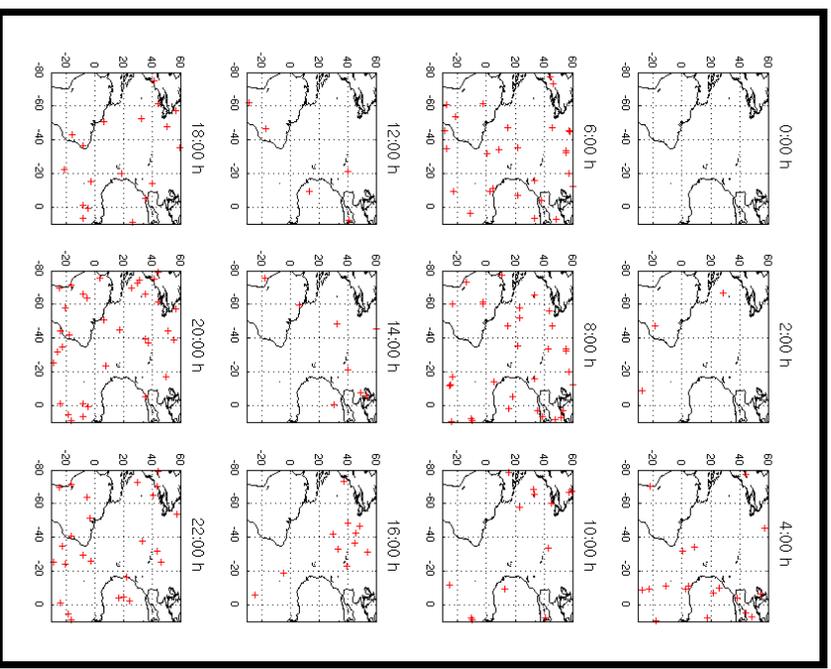
GPS Beobachtungen auf LEOs (COSMIC/F-3)

- Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate / Formosa Sat. Miss. #3
- Taiwan - U.S. Projekt
- 6 Satelliten seit April 2006
- Orbithöhe 400 – 800 km
- jeweils ein GPS Empfänger
- ca. 2000 Beobachtungen pro Tag

Preprocessing:

- VTEC bis Orbit aus Ne-Profilen (L.C.Tsai, NCU, Taiwan)
- Extrapolation bis GPS Höhe

01 März 2009
Messpunkte COSMIC



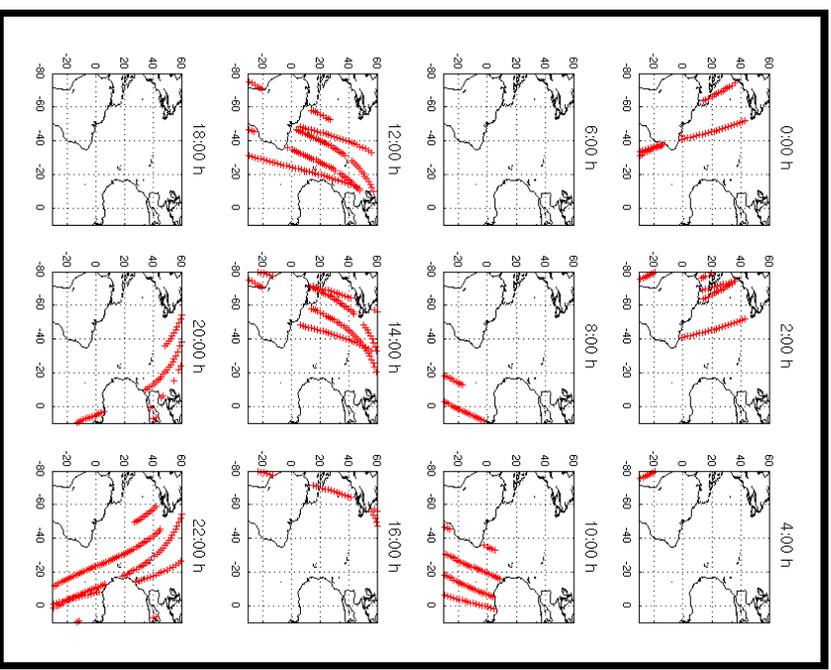
Ionosphäreninformationen aus Radar-Altimetrie

- aktuell 2 Altimetermissionen mit Zweifrequenzradaraltimeter: **Jason-1, Jason-2**
- **Envisat** ohne zweite Frequenz seit Beginn 2008, aber Zweifrequenz-DORIS-Ionosphäre
- Bahnhöhe ~1350 km bzw. 800 km
- Profilmessungen

Preprocessing:

- VTEC: direkte Messgröße
- Extrapolation bis GPS Höhe

01 März 2009
Messpunkte Altimetrie



VTEC Extrapolation

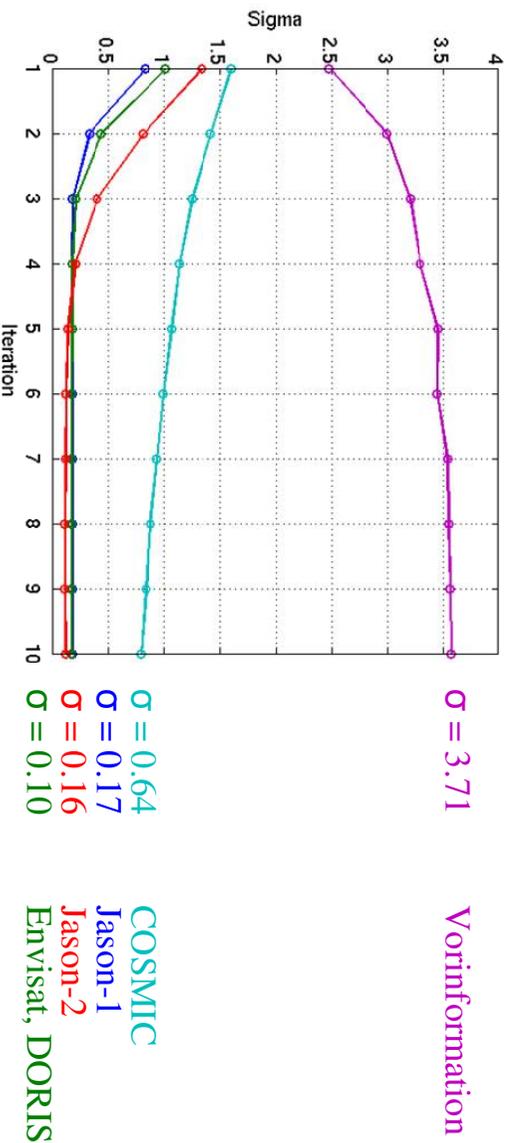
- gemessener VTEC immer bis zur Satellitenbahnhöhe
 - GPS GIM: ≈ 20000 km
 - Jason1/2: ≈ 1400 km
 - Envisat: ≈ 800 km
 - COSMIC: ≈ 500 km / 800 km
- DGFI VTEC Model: VTEC bis 20000 km (wie Referenzmodell)
- Konsistente Reduktion mit klimatologischem Modell (IRI 2007)

$$VTEC_{<20000}(\varphi, \lambda, t) = VTEC_{<orbit}(\varphi, \lambda, t) \cdot \frac{VTEC_{IRI<orbit}(\varphi, \lambda, t)}{VTEC_{IRI<20000}(\varphi, \lambda, t)}$$

- Iijima, B.A. et al (JPL): “Automated daily process for global ionospheric total electron content maps and satellite ocean altimeter ionospheric calibration based on Global Positioning System data”, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 1999

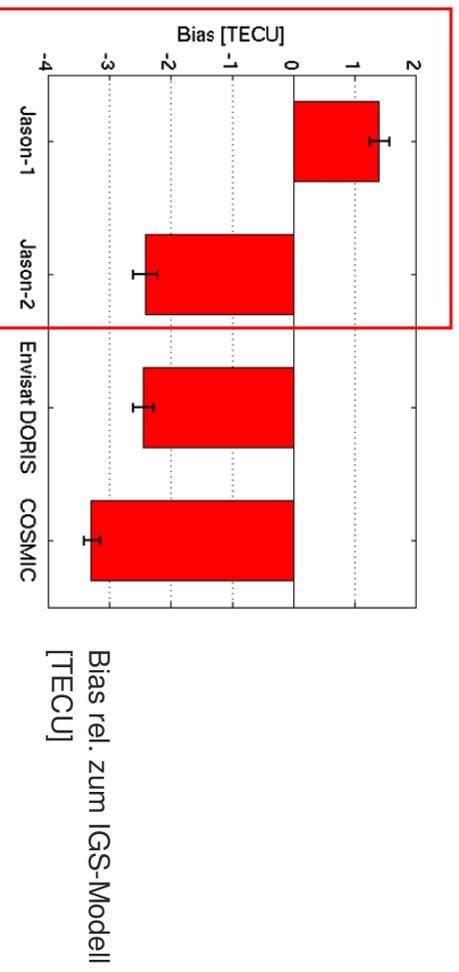
Gewichtung der einzelnen Beobachtungsgruppen

- Automatische Gewichtung durch Varianzkomponentenschätzung (VCE)
- Monte-Carlo-Lösung, gutes Iterationsverhalten (Startparameter: $\sigma=1$)



Systematische Unterschiede zwischen den Beobachtungsgrößen

- im Modellansatz wird pro Verfahren ein Bias zum Referenzmodell zugelassen



- Relative Offset zwischen den Verfahren ableitbar

Differenz **Jason-1** ↔ **Jason-2** : 3.8 ± 0.3 TECU => **-8.3 mm** (bei 13.6 GHz)

Altimeterkalibrierung: -8.7 mm

(*Jason-2 Cycle 024, IGD R Analysis, S. Phillips, CLS*)

Regionale VTEC Karten

- Gebiet: Atlantik mit Teilen Europas und Südamerikas
- Zeitraum: 24h am 01.03.2009
- kontinuierlich vorhanden, nur Darstellung $dt=2h$

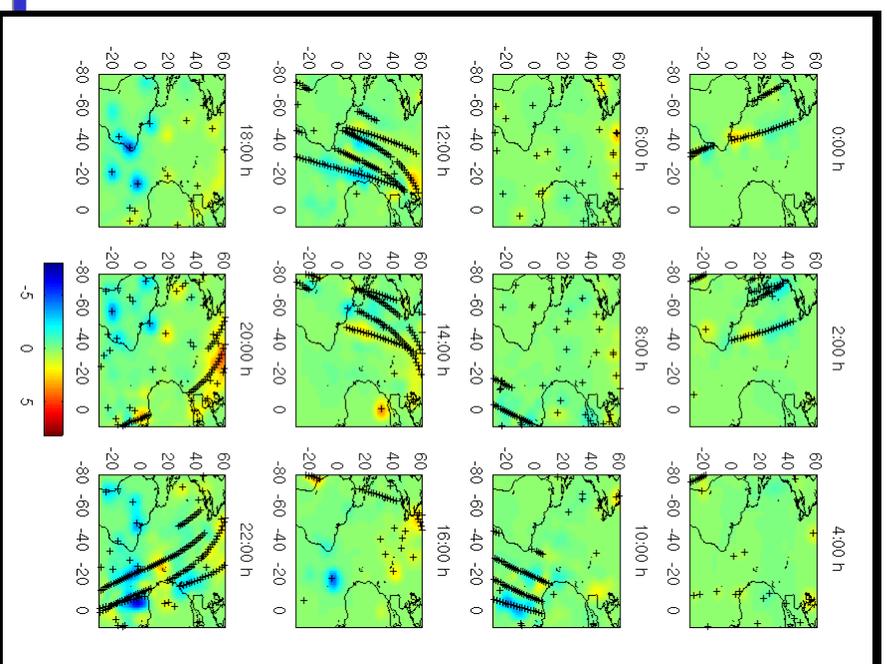
⇒ Differenzen zum Referenzmodell von bis zu 7 TECU

⇒ Änderungen nur, wo Messdaten vorhanden sind

Korrekturmodell
ΔVTEC [TECU]



Kombination von Beobachtungen unterschiedlicher Raumverteilungen zur Erzeugung von VTEC-Modellen



15

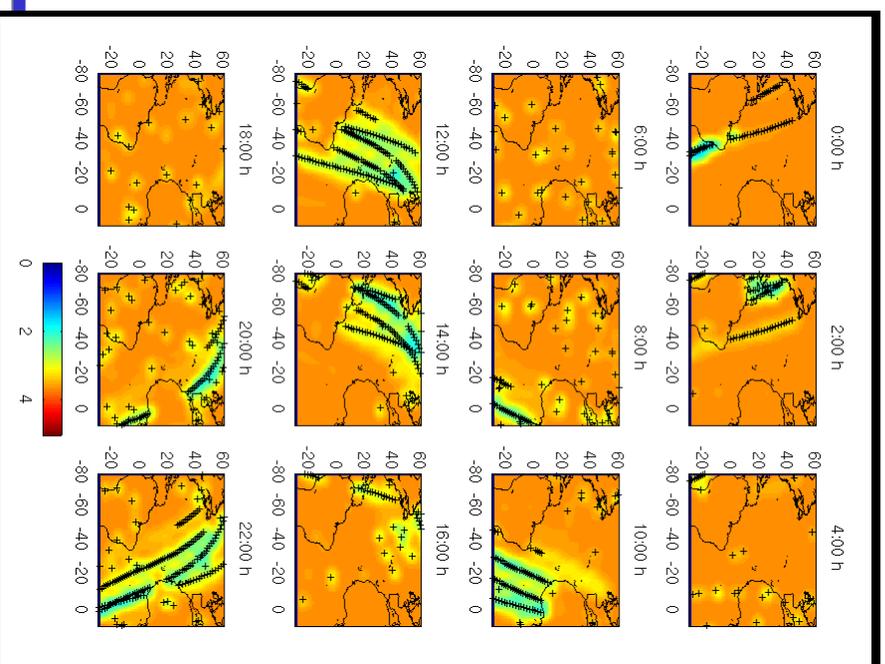
Regionale VTEC Karten

- Genauigkeiten zwischen 1.5 und 4 TECU
- Genauigkeitssteigerung nur in Gebieten mit Datengrundlage
- Datenverteilung leider noch unzureichend

Genauigkeiten Korrekturmodell
RMS ΔVTEC [TECU]



Kombination von Beobachtungen unterschiedlicher Raumverteilungen zur Erzeugung von VTEC-Modellen



16

Zusammenfassung und Ausblick

Vorteile des Verfahrens

- durch die Verwendung der lokalisierenden B-spline Funktionen kann das Referenzmodell gezielt dort unterstützt werden, wo tatsächlich Daten vorhanden sind (lokale Auflösungssteigerung)
- kontinuierliche Zeitmodellierung statt feste 2h Intervalle

Probleme

- unzureichenden Datenverteilung der Altimeterdaten (leider nur Profildaten, teilweise sonnensynchron)

Nächste Schritte

- Einbeziehung weiterer Beobachtungen (zusätzliche LEO-Missionen), eventuell andere Datentypen (VLBI, GRACE-K-Band,...)
- 4D Modellierung der Elektronendichte

