



TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN  
DEPARTMENT FÜR GEODÄSIE  
UND GEOINFORMATION  
FORSCHUNGSGRUPPE  
HÖHERE GEODÄSIE

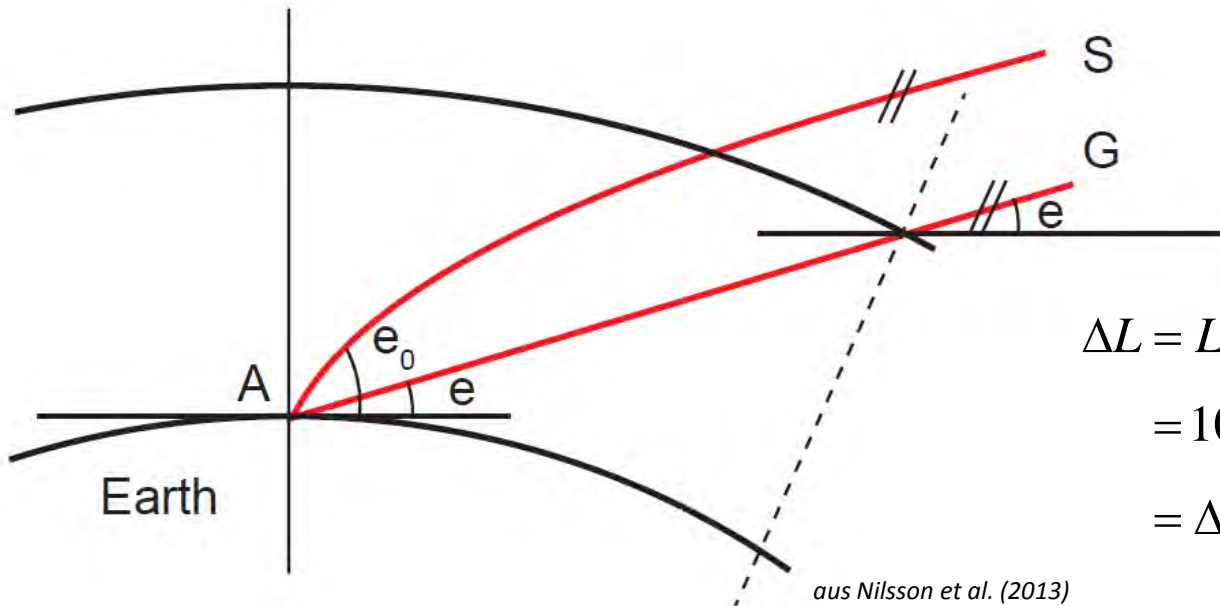


Der Wissenschaftsfonds.

# Anwendung von Ray-traced Delays in der CONT11 VLBI Kampagne

Armin Hofmeister

Johannes Böhm



$$\begin{aligned} \Delta L &= L - G \\ &= 10^{-6} \int_S N(s) ds + S - G \\ &= \Delta L_h + \Delta L_w + S - G \end{aligned}$$

- Troposphäre führt zu
  - Verlangsamung der Signalausbreitung (gegenüber Vakuum)
  - Krümmung des Signalpfads, um elektrische Weglänge zu minimieren (Fermatsches Prinzip) = Geometric bending
  
- Auswirkung: troposphärische Laufzeitverzögerung (Delay)
  - geometrischer Signalweg bzw. Signallaufzeit länger um  $\Delta L$

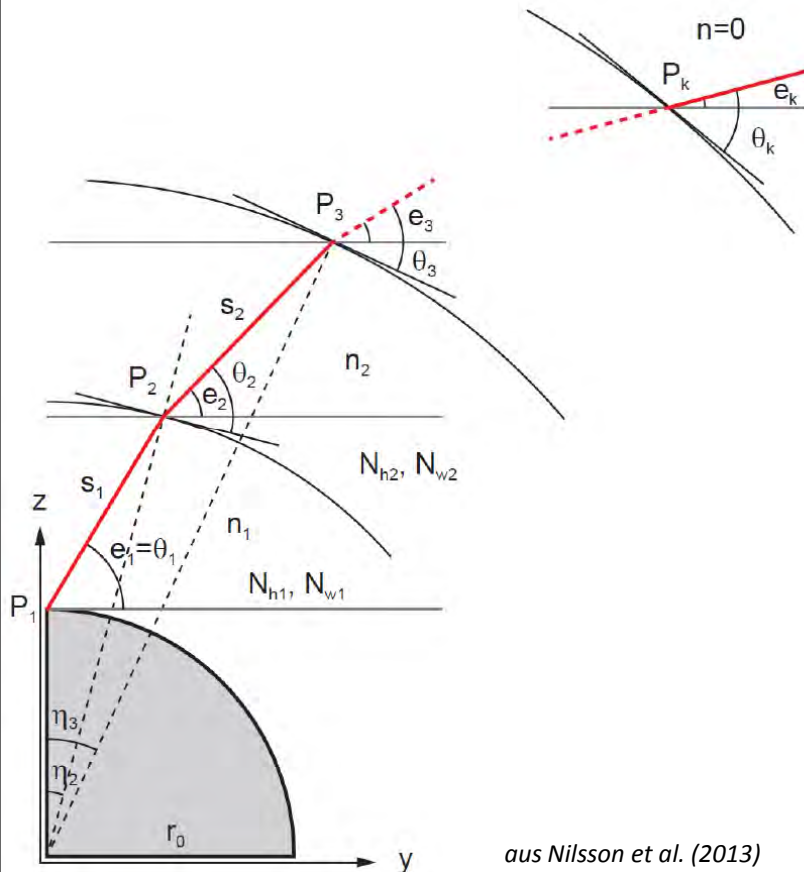
- Trop. Delay Hauptfehlerquelle in VLBI<sup>1)</sup>
  - → genauere Delays bieten Potential zur Genauigkeitssteigerung der Zielparameter
- Übliche Korrektur der Troposphäreneffekte
  1. A priori Werte für Zenith hydrostatic-Delays
  2. Schätzung von Zenith wet-Delays (ZWD) innerhalb der VLBI-Auswertung
  3. Slant-Delays durch Abbildung auf Elevation der Beobachtung mit Mapping Funktionen  $mf(e)$

$$\Delta L(e) = \Delta L_h^z * mf_h(e) + \Delta L_w^z * mf_w(e)$$

- Mapping Funktion VMF1<sup>2)</sup>
  - basiert auf 1D Ray-traced Delays

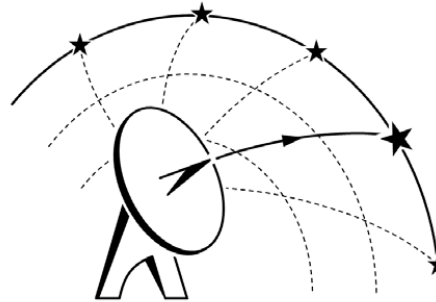
<sup>1)</sup> Very Long Baseline Interferometry

<sup>2)</sup> Vienna Mapping Functions 1



- Berechnung mittels Strahlverfolgung
  - Zenith- und Slant-Delays
- Refraktivitäten abgeleitet aus numerischen Wettermodellen
- Zusätzliche Schätzung von wet Zenith-Delays in VLBI-Auswertung möglich
  - Prinzipiell nicht zwingend erforderlich, dann auch keine Mapping Funktionen benötigt

- Ray-tracing Programm RADIATE entwickelt innerhalb des Projekts RADIATE VLBI<sup>1)</sup>



- Meteorologische Daten über numerisches Wettermodell des ECMWF<sup>2)</sup>
  - Horizontale Auflösung:  $0.125^\circ \times 0.125^\circ$
  - Vertikale Auflösung: 25 Druck-Level (1000 hPa – 1 hPa)
  - Zeitliche Auflösung: 6 Stunden
- Standardatmosphäre (US 1976)
  - für Daten über dem letzten ECMWF Druck-Level

<sup>1)</sup> Ray-traced Delays in der Atmosphäre für geodätische VLBI

<sup>2)</sup> European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

- Erhöhung der vertikalen Auflösung durch Interpolation bis 84 km Höhe
- Delays zum Beobachtungszeitpunkt
  - Lineare zeitliche Interpolation der Delays zu Epoche vor und Epoche nach der Beobachtung
- 2D Ray-tracing Ansätze
  1. Piecewise-linear (pwl)  
Schnelle, aber vereinfachte Methode der Strahlverfolgung
  2. Refined piecewise-linear  
Verbesserte pwl Methode für genauere Bestimmung der Refraktivitäten bei geringerer vertikaler Auflösung
  3. Thayer  
Gekrümmte Strahlen für verbesserte Rekonstruktion des realen Signalpfades

- Kampagne des IVS<sup>1)</sup>
- Kontinuierliche VLBI Beobachtungen für 24h an 15 aufeinanderfolgenden Tagen im September 2011
- 12 Stationen in Auswertungen, ohne:
  - Zelenchukskaya (ZELENCHK): schlechte Performance
  - Warkworth (WARK12M): zu wenig Beobachtungen



© IVS

<sup>1)</sup> International VLBI Service for Geodesy and Astrometry

- Ray-traced Slant-Delays (RTD) aus RADIATE mit piecewise-linear Ansatz
- Auswertung der CONT11 Beobachtungen mit VieVS<sup>1)</sup>
  - U. a. Bestimmung der Stationskoordinaten
- Wiederholbarkeiten zur Abschätzung von Auswirkungen der Ray-traced Delays
  - Gew. Standardabweichungen der Basislinienlängen
  - Gew. Standardabweichungen der Stationskoordinaten
- Auswertungen mit unterschiedlichen Parametrisierungen für die Untersuchung

<sup>1)</sup> Vienna VLBI Software



## I) Standard (Referenzlösung)

- Druck und VMF1 a priori
- ZWD stündlich geschätzt
  - Constraints: 1.5 cm
- Trop. Gradienten alle 6h
  - Relative Constraints: 0.05 cm

## II) RTD only

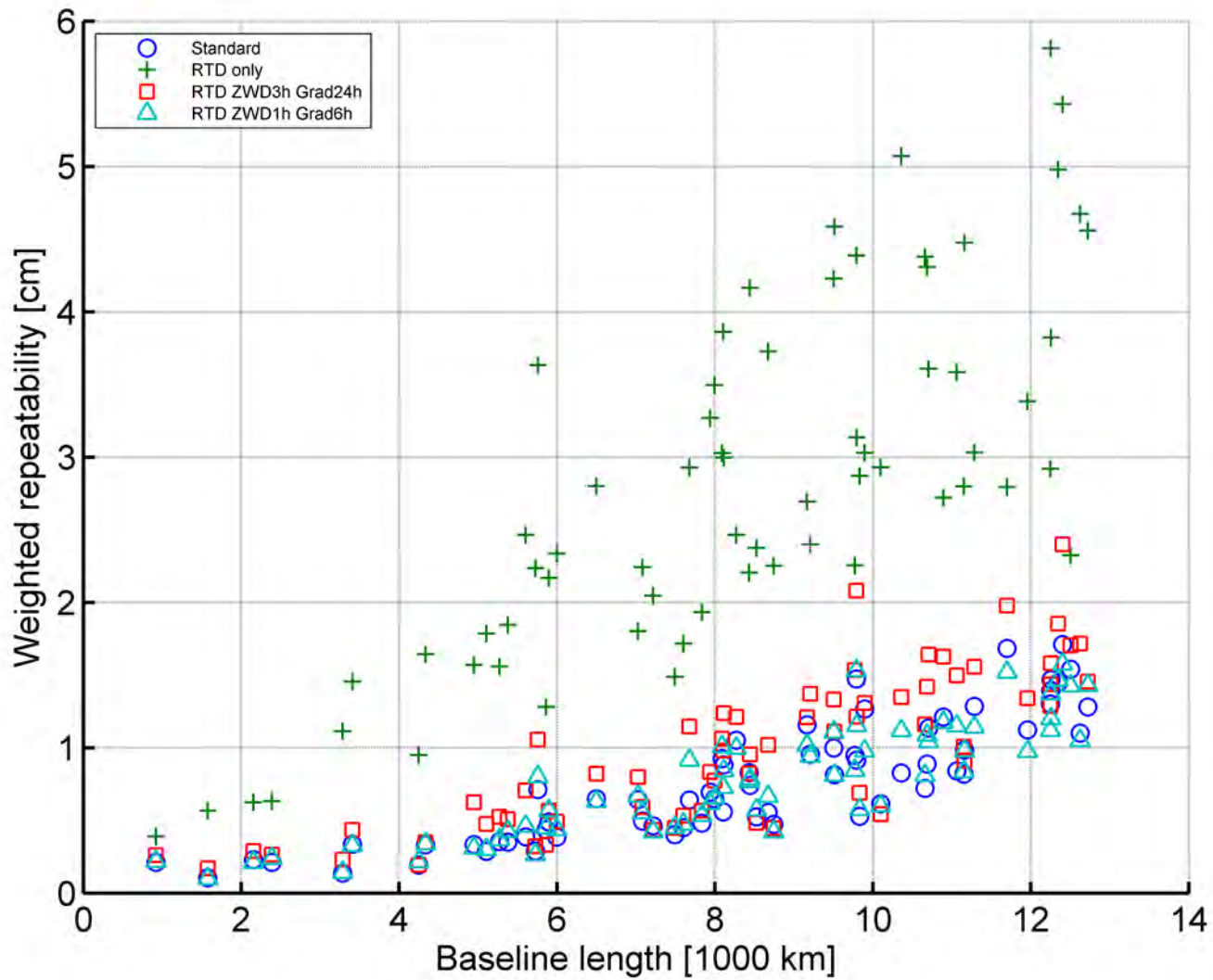
- Ray-traced Slant-Delays als a priori
- Keine ZWD-Schätzung
- Keine trop. Gradienten-Schätzung

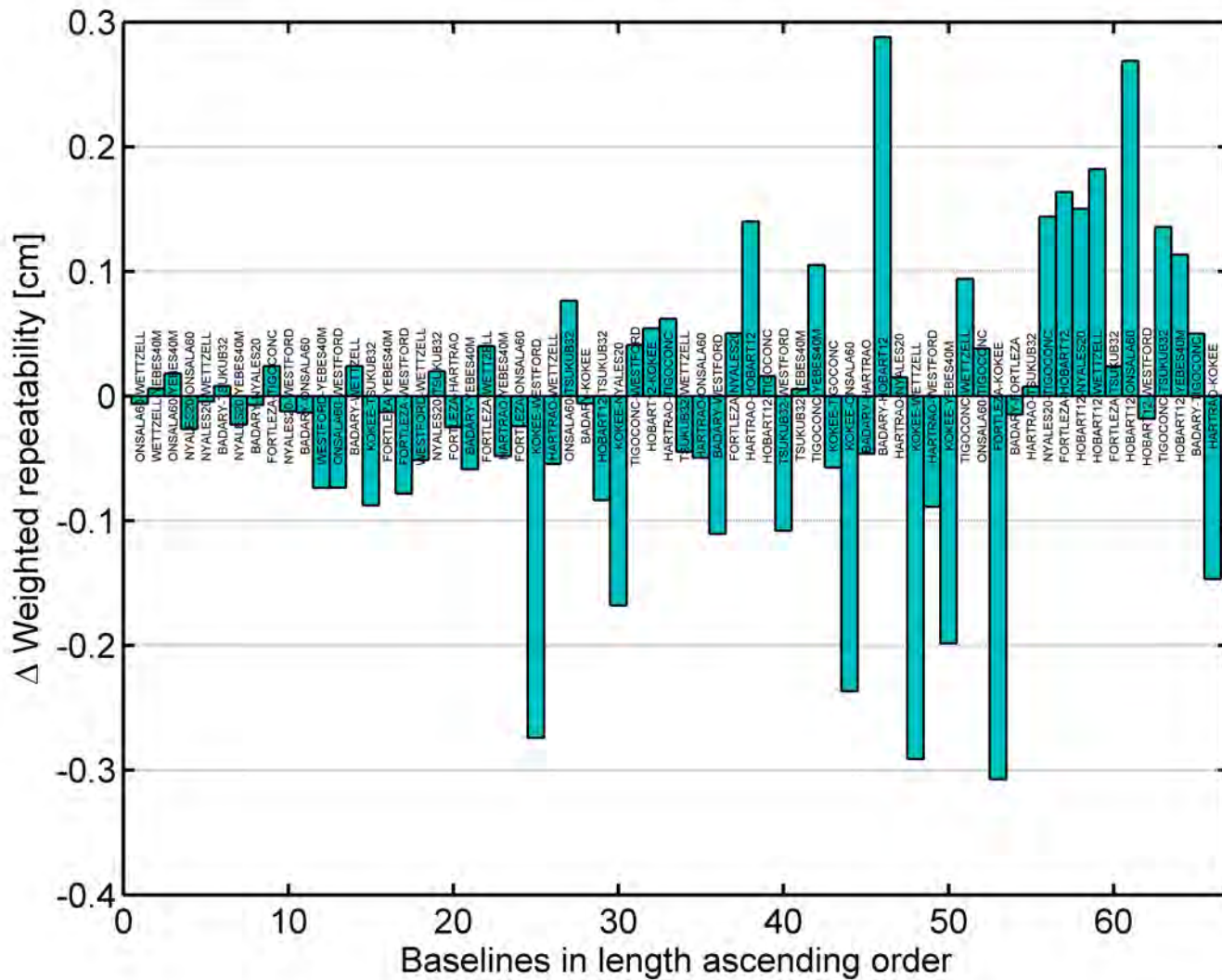
## III) RTD ZWD3h Grad24h

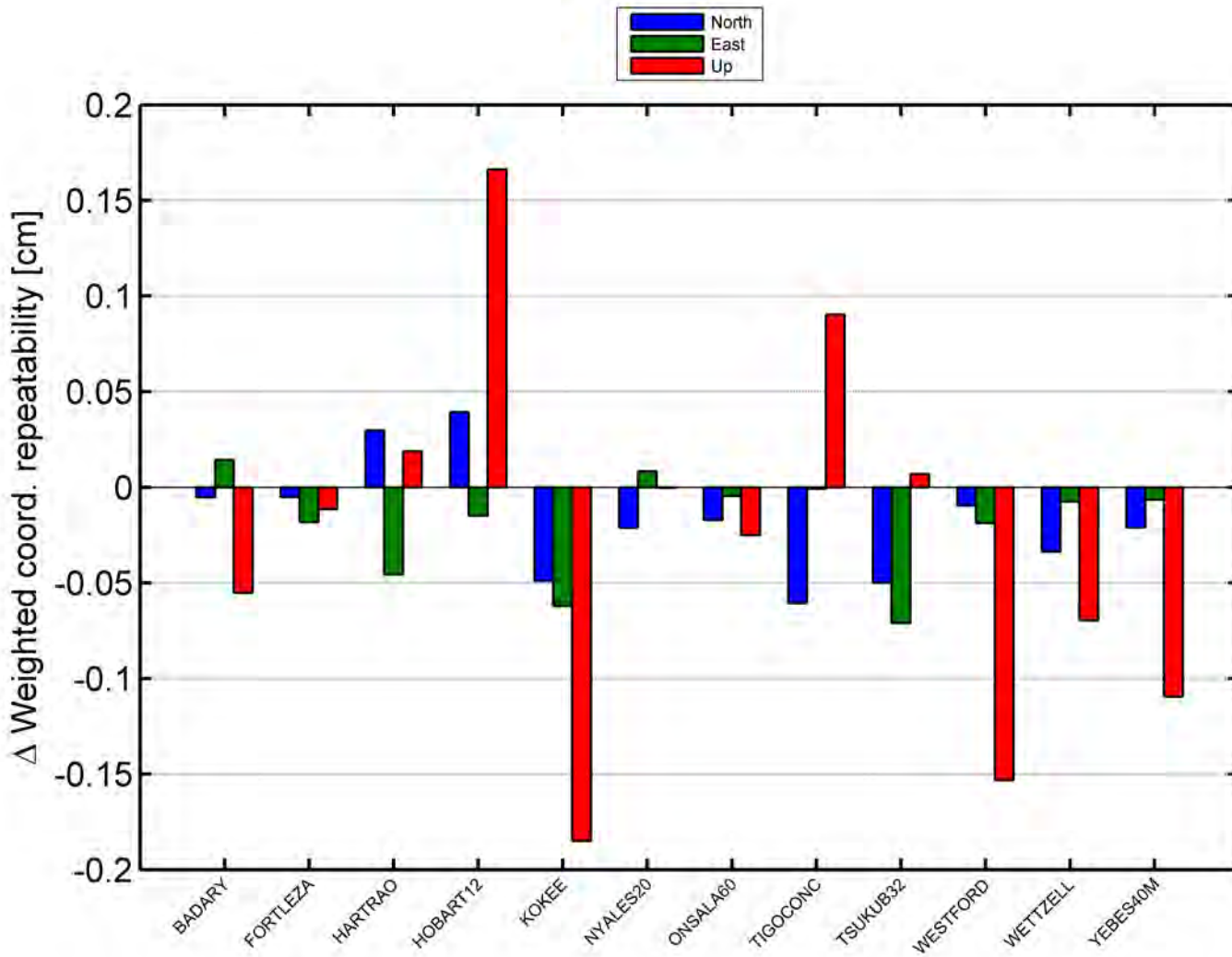
- Ray-traced Slant-Delays als a priori
- ZWD alle 3h geschätzt
  - Constraints: loose
- Trop. Gradienten alle 24h
  - Relative Constraints: tight

## IV) RTD ZWD1h Grad6h

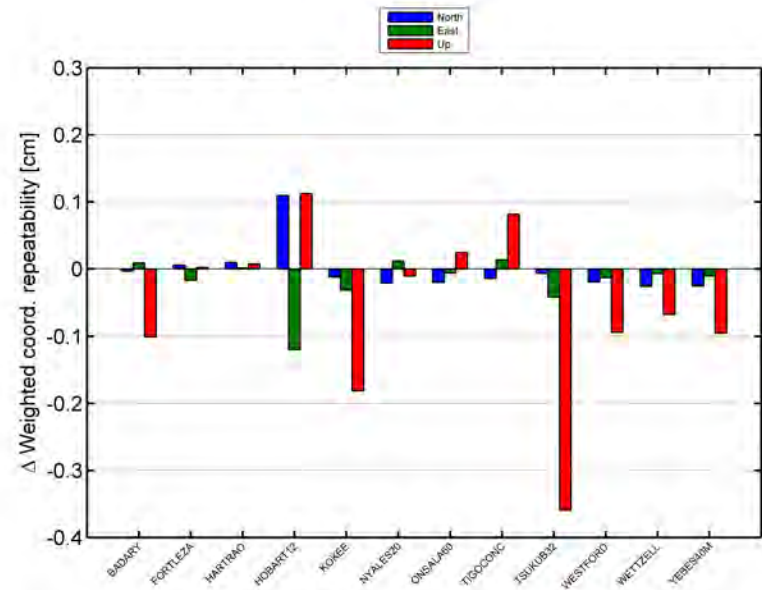
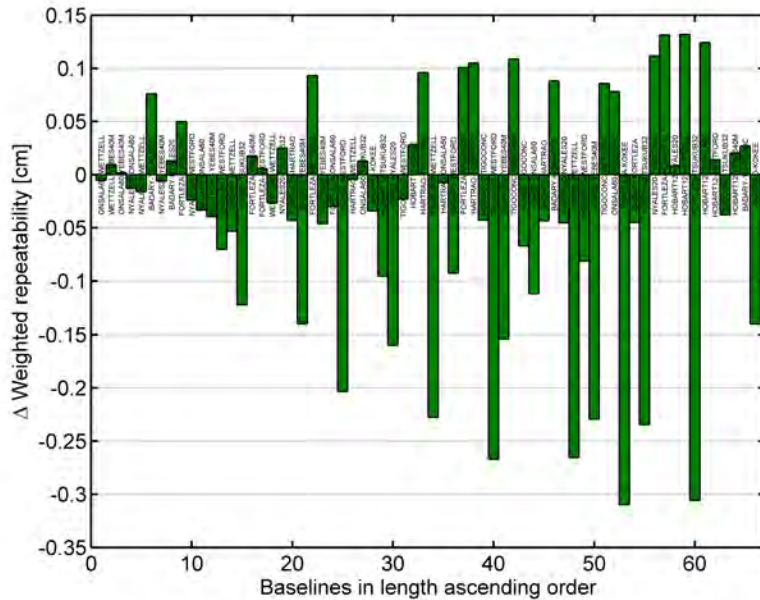
- Ray-traced Slant-Delays als a priori
- ZWD stündlich geschätzt
  - Constraints: 1.5 cm
- Trop. Gradienten alle 6h
  - Relative Constraints: 0.05 cm







- Zusätzliche Schätzung von ZWD und Gradienten notwendig
- Ray-traced Delays können Basislinienwiederholbarkeit verbessern
  - Ergebnisse verschlechtert durch KOKEE
- Problematik KOKEE
  - Basislinien am stärksten verschlechtert
  - Wiederholbarkeiten anderer Basislinien u. U. ebenfalls beeinflusst
  - Kritischer Punkt: Erfassung von Station durch numerisches Wettermodell
- Koordinatenwiederholbarkeit vergleichbar mit Standard-Lösung
  - Negativer Einfluss wiederum durch KOKEE
- Weitere Untersuchungen bezüglich KOKEE



- Unterschiede hauptsächlich bei Basislinien mit
  - KOKEE
  - TSUKUB32

- Größte Unterschiede
  - KOKEE
  - TSUKUB32
- Vermutlich aufgrund verschiedener num. Wettermodelle

Johannes Böhm und Armin Hofmeister bedanken sich beim Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) für die finanzielle Unterstützung des Projekts „Ray-traced Delays in der Atmosphäre für geodätische VLBI“ (RADIATE VLBI) (P25320).

**FWF**

Der Wissenschaftsfonds.

## Quellennachweis

- Böhm J. (2004). *Troposphärische Laufzeitverzögerungen in der VLBI*. Dissertation, Technische Universität Wien.
- Böhm J. (2012). *RADIATE VLBI*. Projektantrag für den FWF, Technische Universität Wien.
- Böhm J., Böhm S., Nilsson T., Pany A., Plank L., Spicakova H., Teke K., Schuh H. (2012). *The new Vienna VLBI Software VieVS*. In S. Kenyon, M. C. Pacino, and U. Marti (eds): Proceedings of IAG Scientific Assembly 2009, International Association of Geodesy Symposia Series Vol. 136, pp. 1007-1011, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, doi: 10.1007/978-3-642-20338-1\_126
- Böhm J., Werl B., and Schuh H. (2006). *Troposphere mapping functions for GPS and very long baseline interferometry from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts operational analysis data*. In Journal of Geophysical Research, Vol. 111, B02406, doi:10.1029/2005JB003629.
- International VLBI Service for Geodesy and Astrometry (IVS). <http://ivscc.gsfc.nasa.gov/program/cont11/>
- Nilsson T., Böhm J., Wijaya D.D., Tresch A., Nafisi V., and Schuh H. (2013). *Path Delays in the Neutral Atmosphere*. In J. Böhm and H. Schuh (eds): Atmospheric Effects in Space Geodesy, pp. 73-136, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, doi: 10.1007/978-3-642-36932-2\_3.
- NASA Goddard Space Flight Center. Tropospheric ray traced delays provided by the NASA GSFC VLBI group. <http://lacerta.gsfc.nasa.gov/tropodelays> (Eriksson & MacMillan)