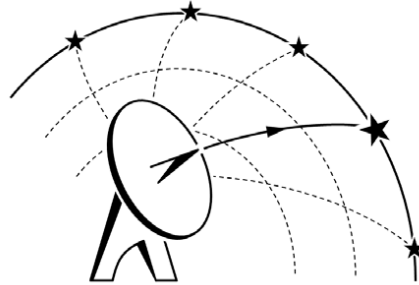




TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
DEPARTMENT FÜR GEODÄSIE
UND GEOINFORMATION
FORSCHUNGSGRUPPE
HÖHERE GEODÄSIE

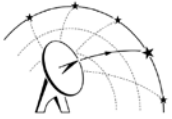
Ray-traced Delays in der Atmosphäre für geodätische VLBI

Armin Hofmeister,
Vahab Nafisi, Johannes Böhm

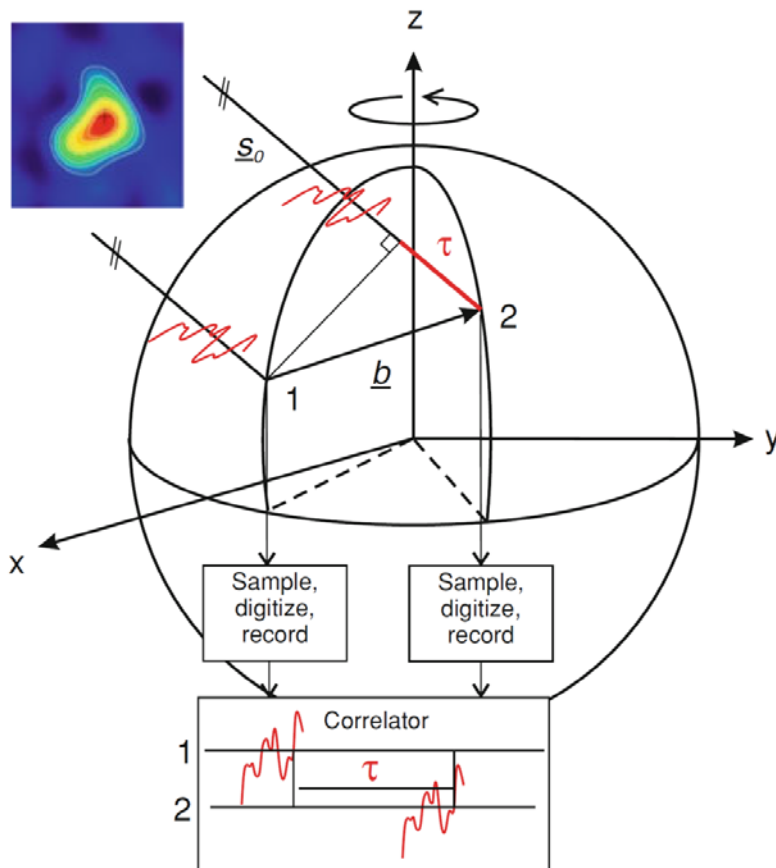


I. VLBI – Very Long Baseline Interferometry

Eine kurzer Überblick über Messtechnik und Anwendungen
der geodätischen VLBI

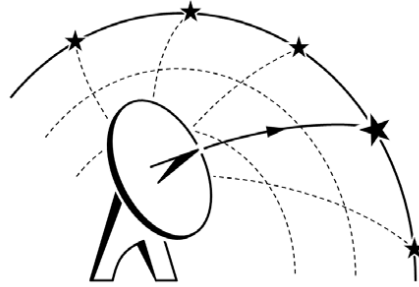


I. VLBI – Messtechnik, Ergebnisse, Anwendungen



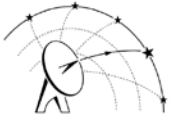
aus Schuh & Böhm (2013)

- → Troposphäre muss korrigiert werden!
- Ergebnisse
 - CRF
 - TRF
 - EOP, speziell:
 - Rot.dauer d. Erde ($dUT1=UT1-UTC$)
 - Nutation (über längere Intervalle)
- Anwendungen
 - Positionierung und Navigation auf der Erde und im Weltraum
 - TRF → Bestimmung Meeresspiegelanstieg
 - Bestimmung geodynamischer Prozesse und Parameter



II. Wissenschaftliche Aspekte des Ray Tracing

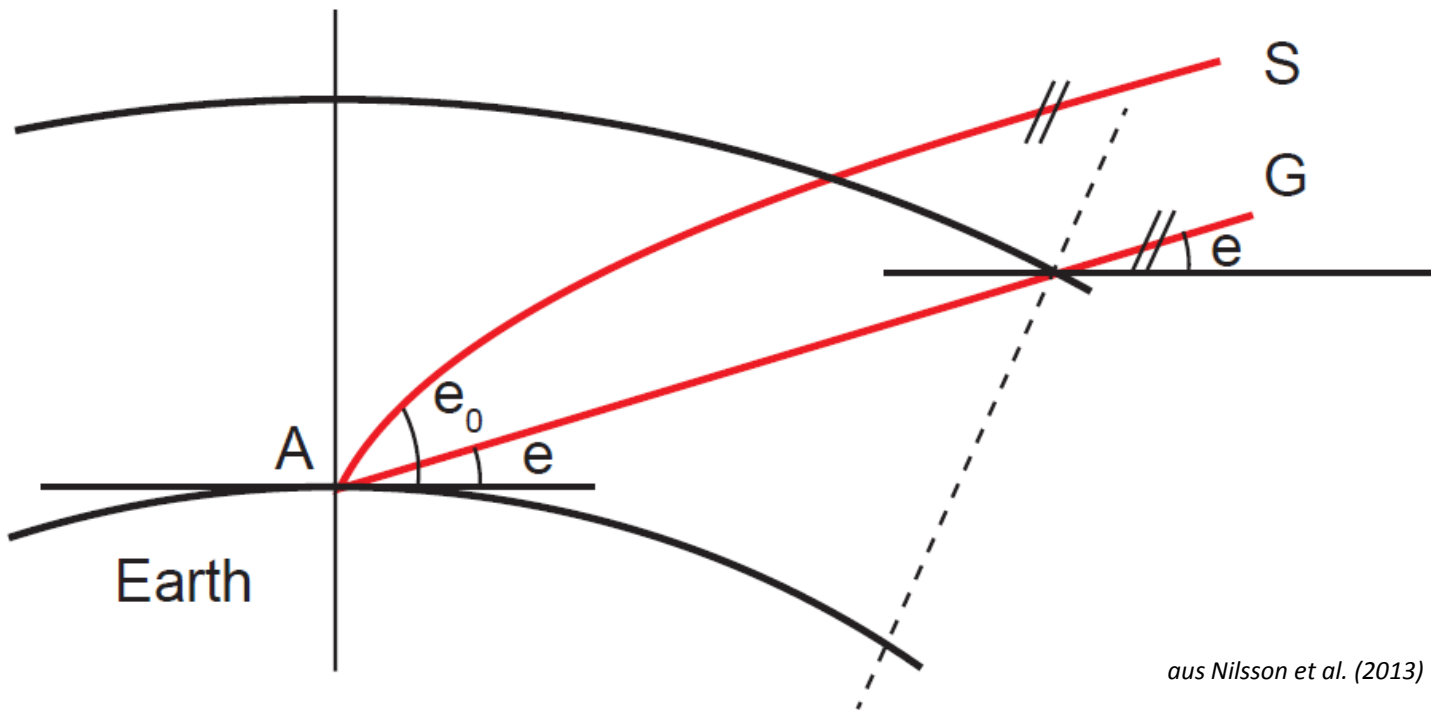
Überblick, Motivation und Vor- und Nachteile



II. Wissenschaftliche Aspekte – Trop. Modellierung

- Troposphärische Modellierung des Delay ΔL

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

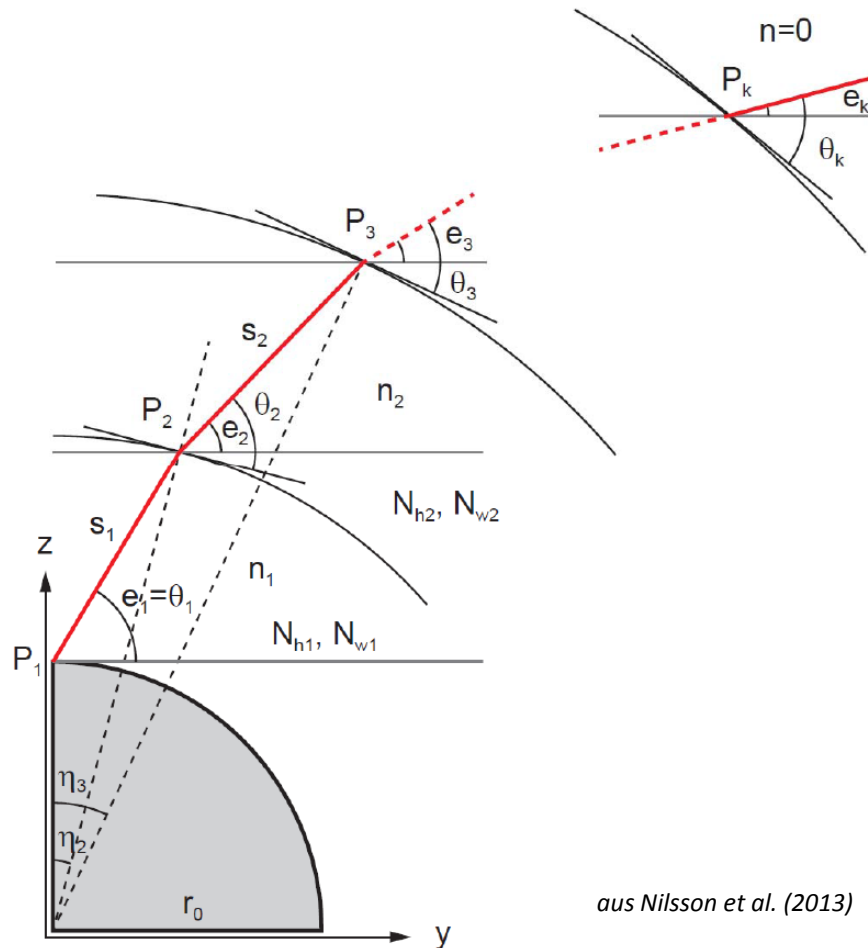


aus Nilsson et al. (2013)

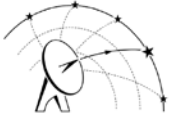


II. Wissenschaftliche Aspekte – Ray Tracing

- Ray Tracing befasst sich mit der Strahlverfolgung des Messstrahls durch die Atmosphäre

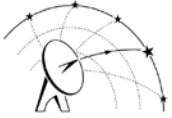


aus Nilsson et al. (2013)



II. Wissenschaftliche Aspekte – Motivation

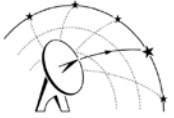
- Modellierung des troposphärischen Delay ist eine Hauptfehlerquelle in der Auswertung geodätischer Weltraumverfahren (z.B. VLBI, GNSS, DORIS, SLR)
 - → Verbesserung nötig, um abgeleitete Parameter genauer bestimmen zu können (z.B. TRF für Meeresspiegelanstieg)
- Stetige Verbesserung der numerischen Wettermodelle (z.B. ECMWF)
 - → Anwendung von Ray Tracing zur Bestimmung der Delays immer praktikabler
 - → bereits vergleichbare Genauigkeiten vgl. mit Standard-Methode (mit Mapping Funktionen) (Nafisi et al., 2012)
- Arbeiten im Bereich Ray Tracing
 - Hobiger et al., 2008
 - Nafisi et al., 2012
 - Zus et al., 2012
 - ...



II. Wissenschaftliche Aspekte – Vor- und Nachteile

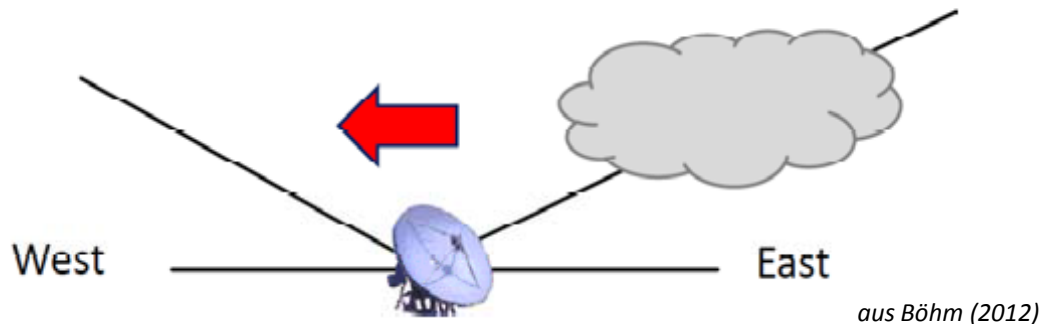
- + Vorteile der Ray-traced Delays
 - + Verwendung realer Wetterdaten
 - + kein a priori Modell für hydrostatic Zenith-Delays notwendig
 - + keine Bestimmung der wet Zenith-Delays als Hilfsparameter in Auswertung nötig (aber oftmals trotzdem mitgeschätzt)
 - + Mapping Funktionen müssen nicht verwendet werden

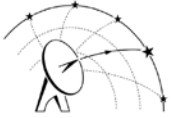
- Nachteile bei der Berechnung von Ray-traced Delays
 - Direktes Berechnen der Delays für jede einzelne Beobachtung
 - → großer Zeit- und Rechenaufwand gegenüber klassischem Ansatz (Modell bzw. abgeleitete Parameter + Mapping Funktionen)
 - → nicht alle GNSS Beobachtungen können so korrigiert werden
 - Hochaufgelöste Wettermodelle sind auch ein Nachteil
 - → viel Speicher bzw. Arbeitsspeicher für Berechnungen notwendig



II. Wissenschaftliche Aspekte – Verbesserungen

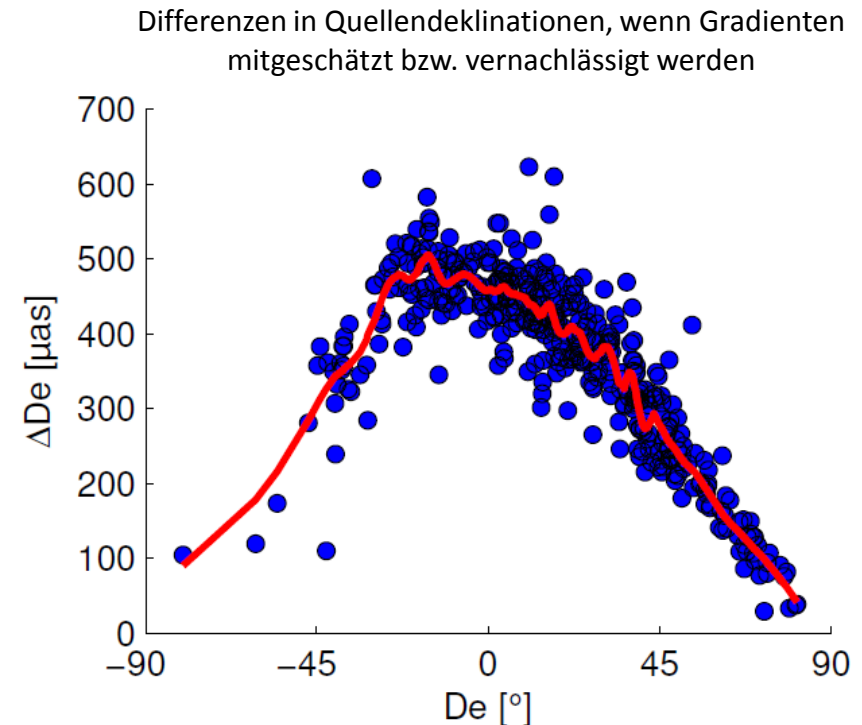
- Verbesserungen durch Ray-traced Delays
 - Aufgrund der Verwendung realer Wetterdaten
 - Genauere Bestimmung der Delays für einzelne Beobachtungen → keine homogene Himmelsabdeckung erforderlich für gute Ergebnisse
 - Bessere Erfassung der horizontalen Gradienten (zusätzl. Delay)
 - → bessere Erfassung der azimuthalen Asymmetrie der Atmosphäre
 - → Stationskoordinaten bzw. EOP werden nicht negativ beeinflusst



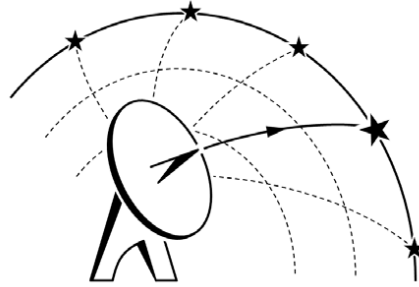


II. Wissenschaftliche Aspekte – erw. Verbesserungen

- Ray Tracing benötigt sehr genaue meteorologische Daten → Feedback zur Genauigkeit der numerischen Wettermodelle
- Erwartete Verbesserungen durch Ray-traced Delays
 - Genauere Bestimmung von Erdorientierungsparametern
 - speziell dUT1 aus VLBI Intensive Sessions
 - Verbesserte Genauigkeiten für
 - TRF, d.h. für Stationspositionen und -geschwindigkeiten
 - CRF → Einfluss der Gradienten (trop. Asymmetrie) (siehe Grafik)

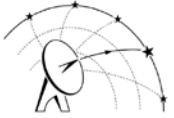


aus Hofmeister (2013)



III. Projekt RADIATE VLBI

Ziele und Status Quo

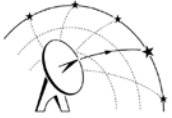


III. RADIATE VLBI

- RADIATE VLBI
 - **Ray-traced Delays in the Atmosphere** for geodetic **VLBI**
 - ist ein vom FWF (Fond zur Förderung wissenschaftlicher Forschung) gefördertes Projekt

FWF

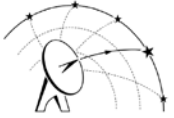
© FWF



III. – Ziele: 1. Delays mittels Ray Tracing berechnen

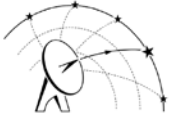
- Für alle geodätischen VLBI Beobachtungen seit 1979
 - → für ca. 5 Millionen Beobachtungen
- Ausgangsbasis: Daten des numerischen Wettermodells des ECMWF
 - → Beschreibung des Zustands der Atmosphäre in Raum und Zeit





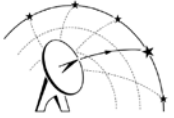
III. – Ziele: 2. Verbesserte Modelle für Delays

- Verbesserungen basierend auf Ray Tracing-Ergebnissen für
 - Mapping Funktionen
 - Horizontale Gradienten
 - Bestimmung empirischer Werte für die Gradienten



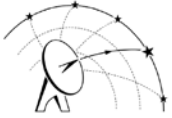
III. – Ziele: 3. Globale VLBI Lösungen

- Berechnung globaler Lösungen mit VieVS
 - Daten
 - Alle Ray-traced Delays (aus 1.)
 - Alle erstellten Modelle (aus 2.)
- Vergleiche der Ergebnisse
 - Gegenüber Standard-Auswertungen mit Mapping Funktionen und Gradienten
 - Gegenüber verschiedenen Variationen in der Auswertemethodik (neue Modelle, alternative Ansätze)
 - Hinsichtlich Auswirkungen auf TRF, CRF und EOPs



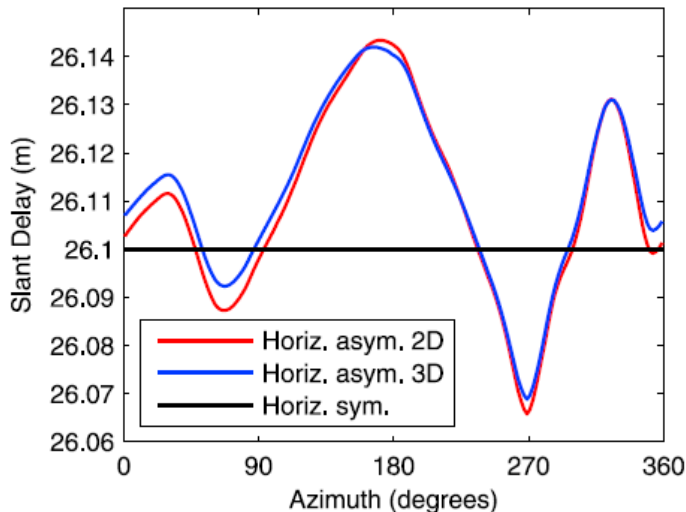
III. – Ziele: 4. Ray Tracing für Real-Time Anwendungen

- Bestimmung von Ray-traced Delays für die Verwendung in Real-Time VLBI-Anwendungen (speziell für IVS Intensive Sessions)
 - Daten aus meteorologischen Vorhersagen für Ray Traces



III. RADIATE VLBI - Status Quo

- Einlesen von globalen hochaufgelösten ECMWF GRIB-Dateien
 - $0,125^\circ \times 0,125^\circ$ mit 25 Druck-Ebenen
- Derzeit ist 1D-Ray Tracing möglich
 - Geplant ist die Umsetzung für 2D (\rightarrow schnelles Ray Tracing)
 - Teilweise auch 3D-Ray Tracing vorgesehen
- Programmcode derzeit in MATLAB[®] \rightarrow zukünftig FORTRAN oder C
- Beispiel zu Trop.-Asymmetrie und dessen Erfassung mittels Ray Tracing:



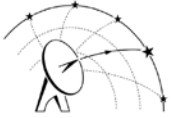
VMF1 = 1D-Ray Tracing (black)

2D-Ray Tracing (red)

3D-Ray Tracing (blue)

Für die Station Tsukuba, Japan am
12.08.2008 zur Epoche 0h

3D-Strahlweg nicht unbedingt länger
als 2D-Weg!



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Quellennachweis

- Böhm, J. (2012). *RADIATE VLBI*. Projektantrag für den FWF. Technische Universität Wien.
- Böhm, J. (2013). EGU and IVS Training School on VLBI for Geodesy and Astrometry. March 2-5, 2013 an der Aalto University, Finland.
- Hofmeister, A. (2013). Bestimmung von himmelfesten Referenzrahmen mit VLBI. Masterarbeit. TU Wien
- Nafisi et al. (2012). Ray-traced tropospheric delays in VLBI analysis. In *Radio Science, Vol. 47*, RS2020, doi:10.1029/2011RS004918.
- Nilsson et al. (2013). Path Delays in the Neutral Atmosphere. In J. Böhm and H. Schuh (eds): *Atmospheric Effects in Space Geodesy* (S. 73-136). Springer Verlag, ISBN 978-3-642-36931-5.
- Schuh, H. (1987). *Die Radiointerferometrie auf langen Basen zur Bestimmung von Punktverschiebungen und Erdrotationsparametern* (Bd. DGK Reihe C: Nr. 328). München: Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.
- Schuh, H., & Böhm, J. (2013). Very Long Baseline Interferometry for Geodesy and Astrometry. In G. Xu, *Sciences of Geodesy - II* (S. 339-376). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.