

# **Verarbeitung von VLBI-Daten mit der Bernese GPS Software**

**Ralf Schmid, Urs Hugentobler**

Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie, TU München

**Markus Rothacher**

Deutsches GeoForschungsZentrum

# Gliederung

- Motivation
- Vorgehen
- CONT02-Resultate, Vergleiche mit OCCAM und GPS
  - Troposphäre
  - Erdrotationsparameter
  - Stationsuhren
- Zusammenfassung/Ausblick

# Motivation

- **Kombination** der verschiedenen geodätischen Raumverfahren gewinnt an Bedeutung
  - Unterschiede zwischen Analysezentren eines Verfahrens zunehmend kleiner
  - Reduktion systematischer Effekte zwischen den Verfahren verspricht Genauigkeitsgewinn
  - Einrichtung von GGOS
- Kombination auf **Beobachtungsebene**
  - schwieriger als Kombination von Normalgleichungen
  - verspricht höhere Konsistenz
- bislang nur zwei Softwarepakete zur Kombination von **VLBI** und **GNSS**: GEOSAT, GINS
- Integration des VLBI-Modells in ein GNSS-Paket überschaubar

# VLBI-Analyseprogramme

Softwarepaket (Haas, 2004)	IVS ACs (ivscc.gsfc.nasa.gov)	weitere Verfahren?
CALC/SOLVE	9	
OCCAM	5	
MODEST	2	
GLORIA	1	
SOLVK	1	
SteelBreeze	1	
VLBEST	1	
GEOSAT	1	X
GINS	-	X

Haas R (2004) Analysis strategies and software for geodetic VLBI

# Vorgehen

- Ausgangspunkt: vorverarbeitete VLBI-Beobachtungsdaten (*group delays*) im **NGS Card Format** (nur CALC/SOLVE kann den "rohen" Korrelator-Output verarbeiten)
- Konvertierung in das Bernese-Format für **Code Single Differences** (2 Stationen, 1 Satellit/Quasar)
- **Aufteilung** der modellierten Beobachtung einschließlich aller Korrekturterme auf die beiden Stationen, z.B.:
$$b \cdot k = r_2 \cdot k - r_1 \cdot k$$
- Modellierter *VLBI Delay* durch Bildung einer *Single Difference*, keine Bildung von *Double Differences*
- VLBI-Daten durchlaufen i.A. die GNSS-Verarbeitungskette, wobei z.B. Quasar- statt Satellitenkoordinaten bereitgestellt werden

# Verarbeitung von CONT02-Daten



CONT02: 16.-31.10.2002

8 Teleskope mit kontinuierlichen Beobachtungen

konsistente GPS- und VLBI-Vergleichslösungen vorhanden (Thaller, 2008)

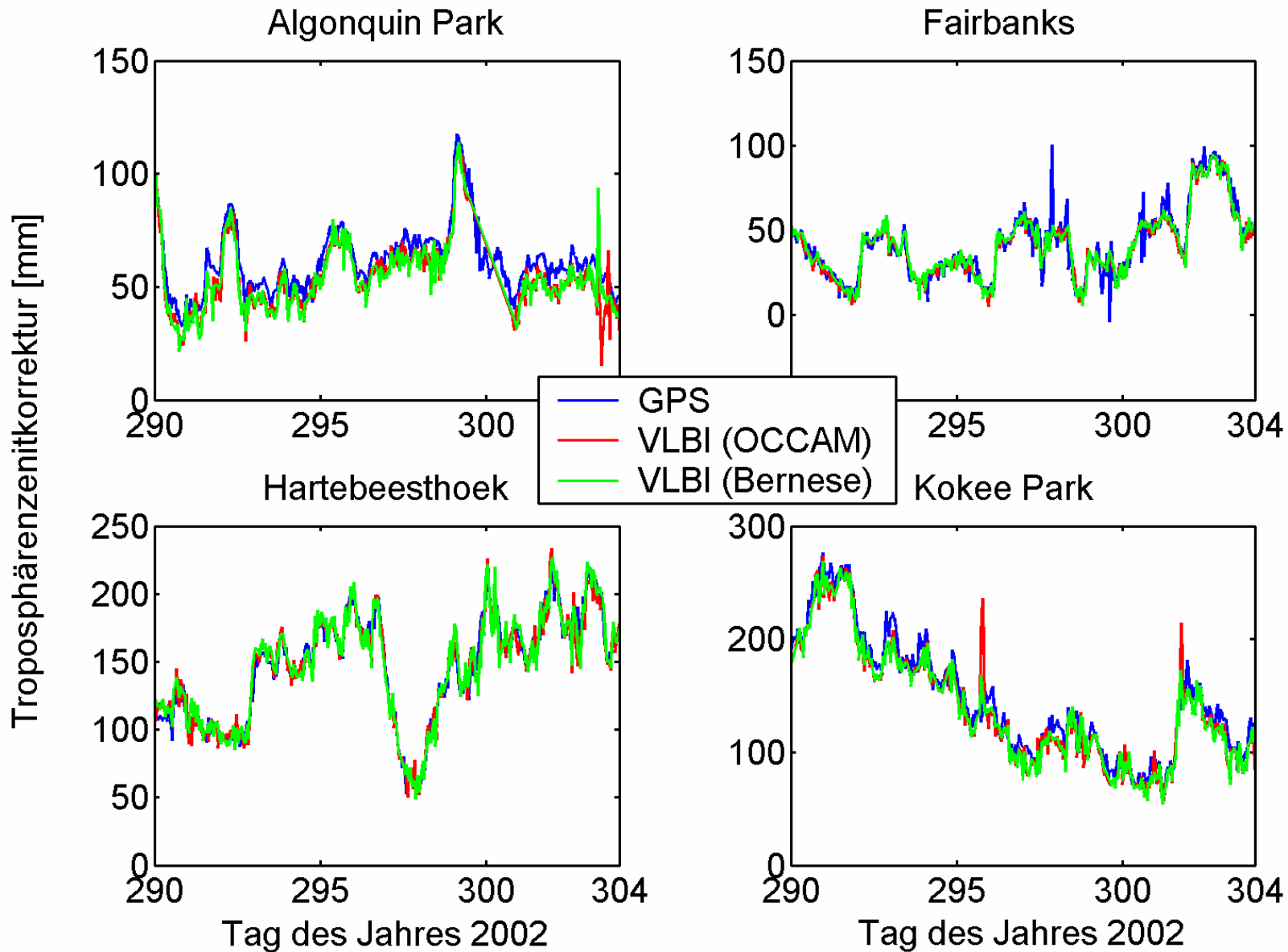
Stationskoordinaten	zweiwöchig
Troposphäre	Zenitverzögerungen <b>1 h</b> , Gradienten 24 h
Erdrotationsparameter	<b>1 h</b>
Nutation	zweiwöchig
Stationsuhr	6 h

Thaller D (2008) Inter-technique combination based on homogeneous normal equation systems including station coordinates, Earth orientation and troposphere parameters

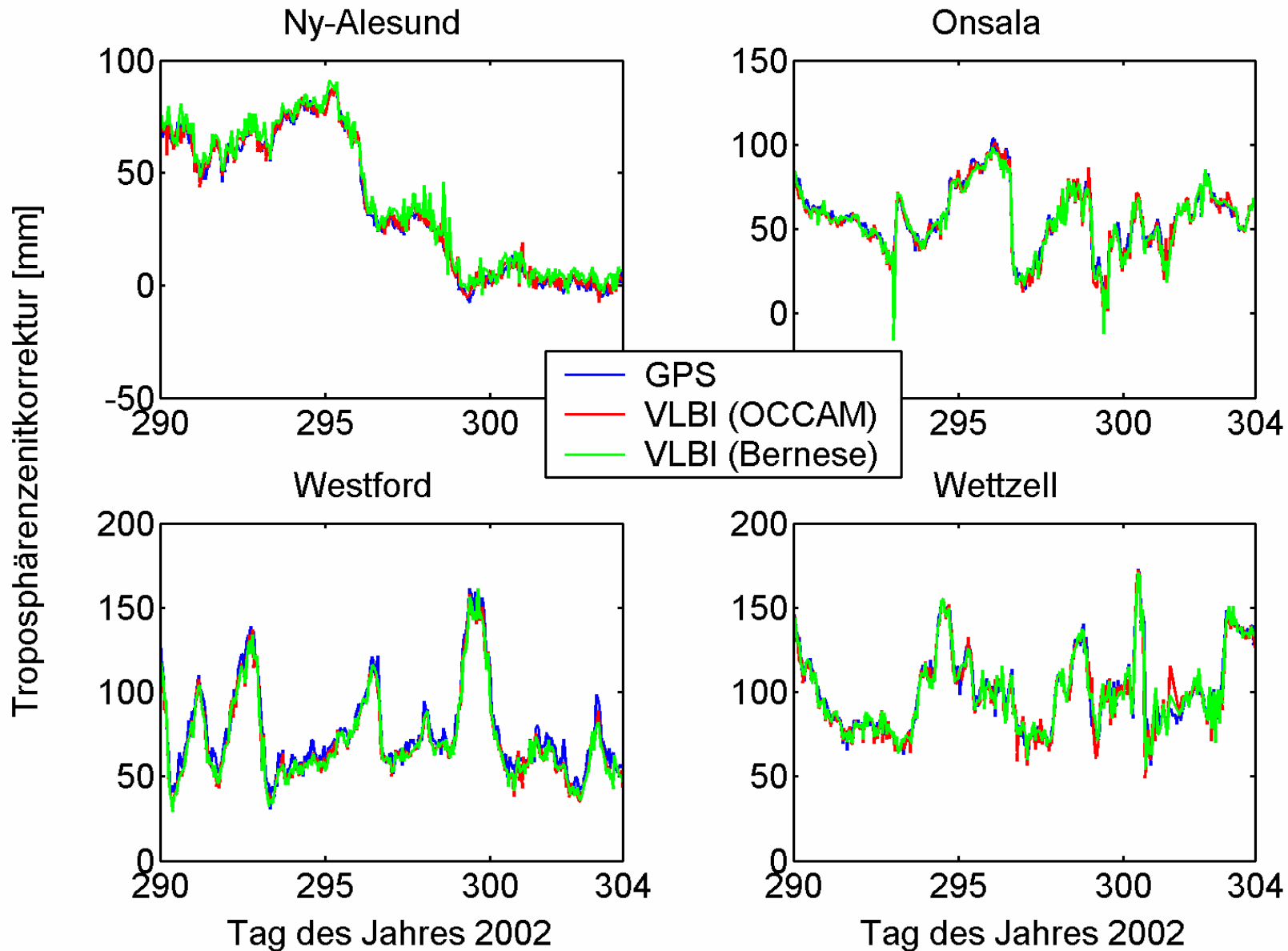
# Besonderheiten bei der Prozessierung

- **Stationsuhren** vereinfacht als stückweise stetige Funktionen modelliert (vgl. OCCAM: quadratische Funktion + stückweise stetige Funktion mit starken *Constraints*)
- Verarbeitung der VLBI-Daten von **0 bis 24 Uhr** UTC (CONT02-Sessionen von 18 bis 18 Uhr UTC)
- vereinfachte Behandlung von **Ausreißern**: Vernachlässigung derjenigen Beobachtungen mit einem Residuum  $> 3$  cm (ca. 100 ps) in 1. Iteration
- a priori-Troposphärenkorrektur für die VLBI-Beobachtungen auf der Höhe der benachbarten GPS-Antenne

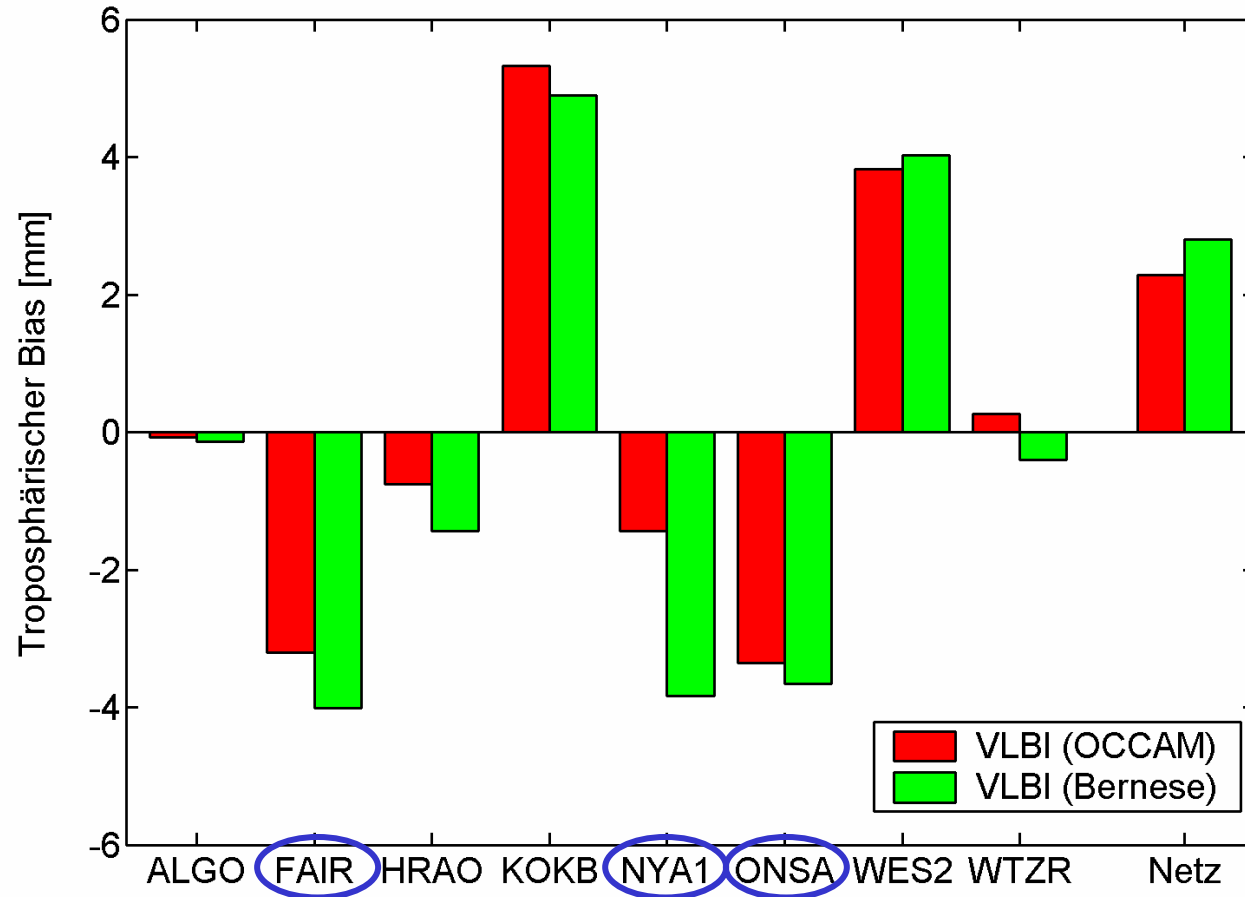
# Troposphärische Zenitverzögerung



# Troposphärische Zenitverzögerung

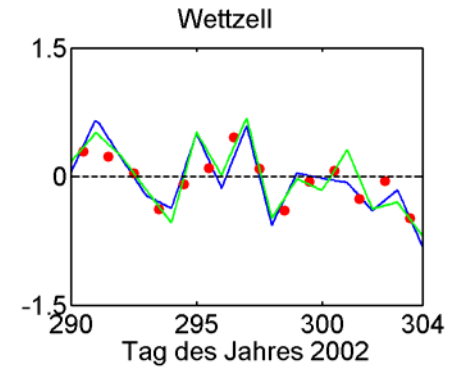
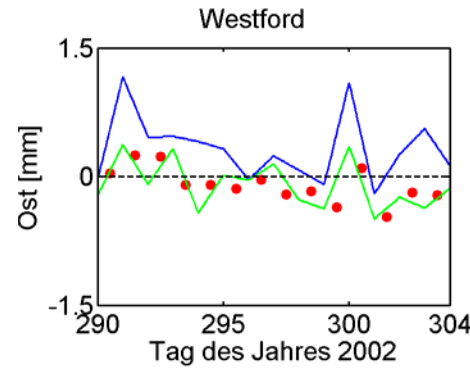
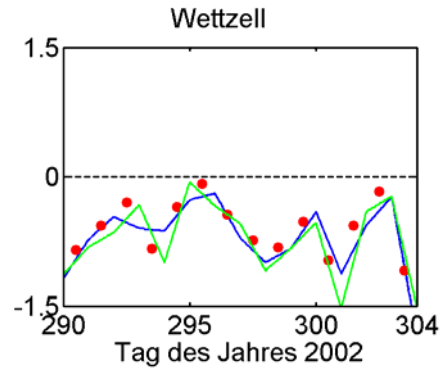
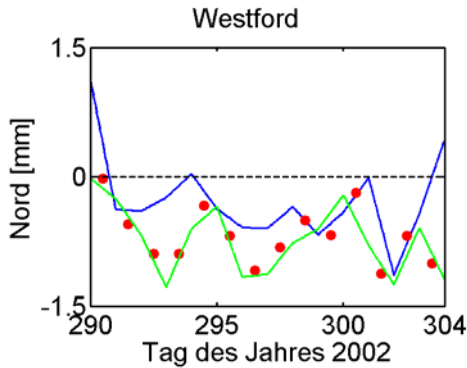
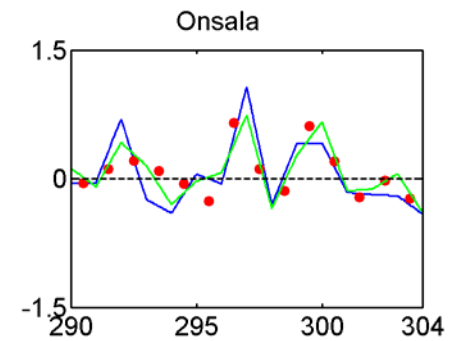
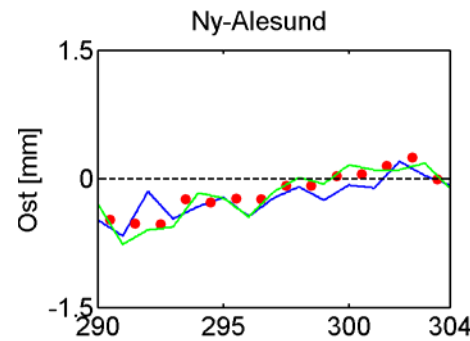
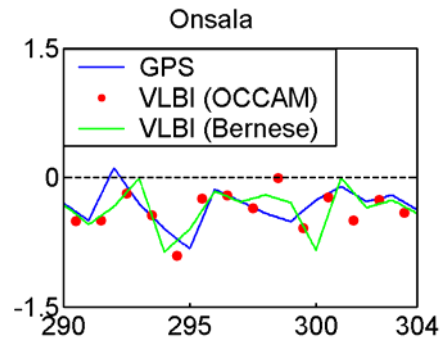
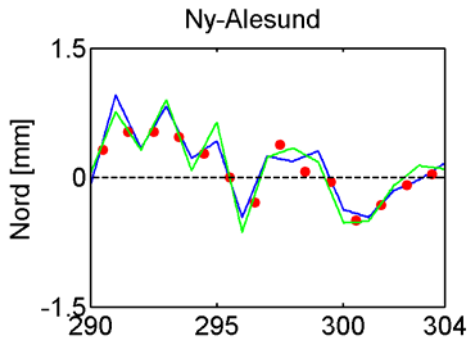


# Bias zwischen GPS und VLBI



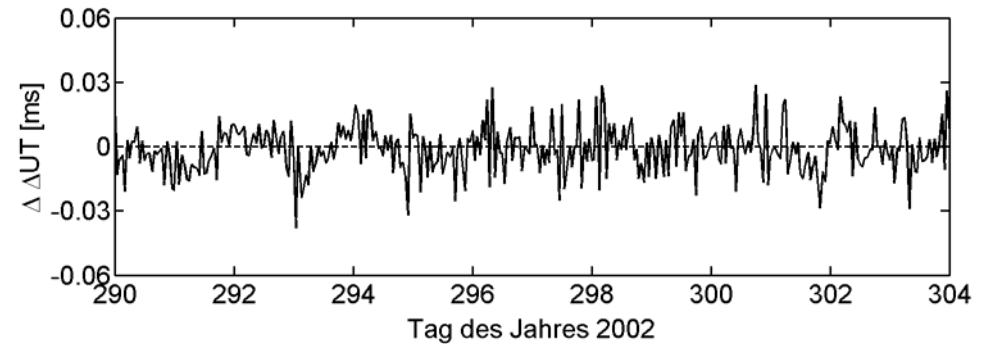
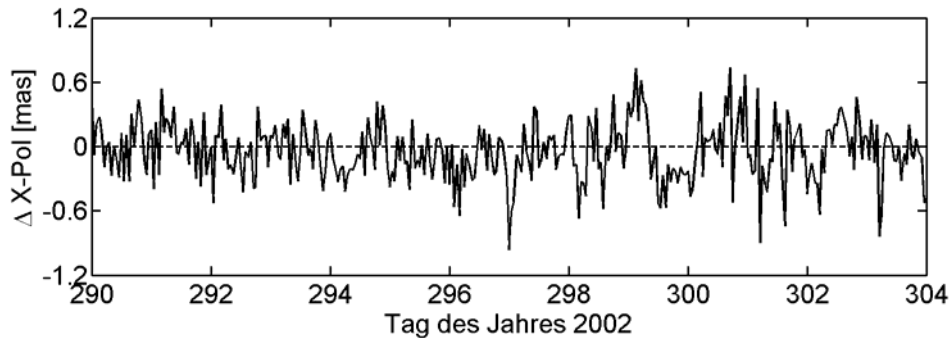
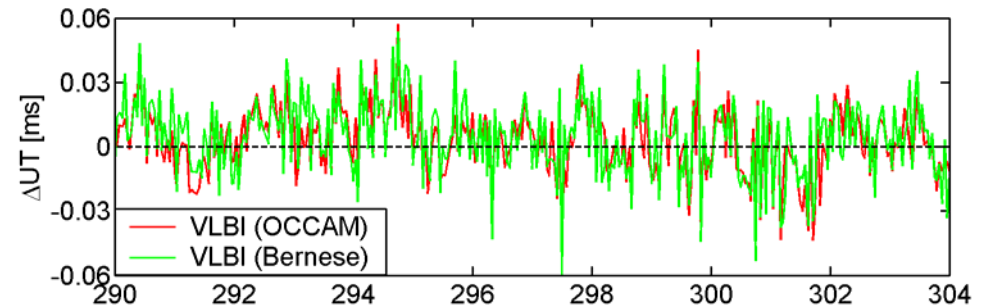
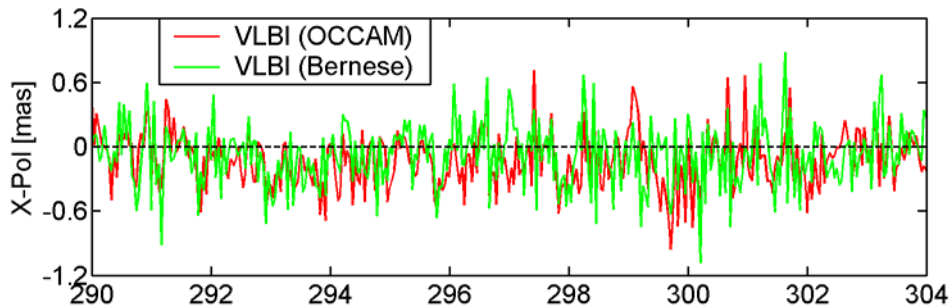
Verbleibende systematische Fehler in der Troposphäre sind wohl nicht auf fehlerhafte Softwarepakete, sondern auf Defizite in der Modellierung (z.B. nicht modellierter Radomeinfluß) zurückzuführen.

# Troposphärische Gradienten



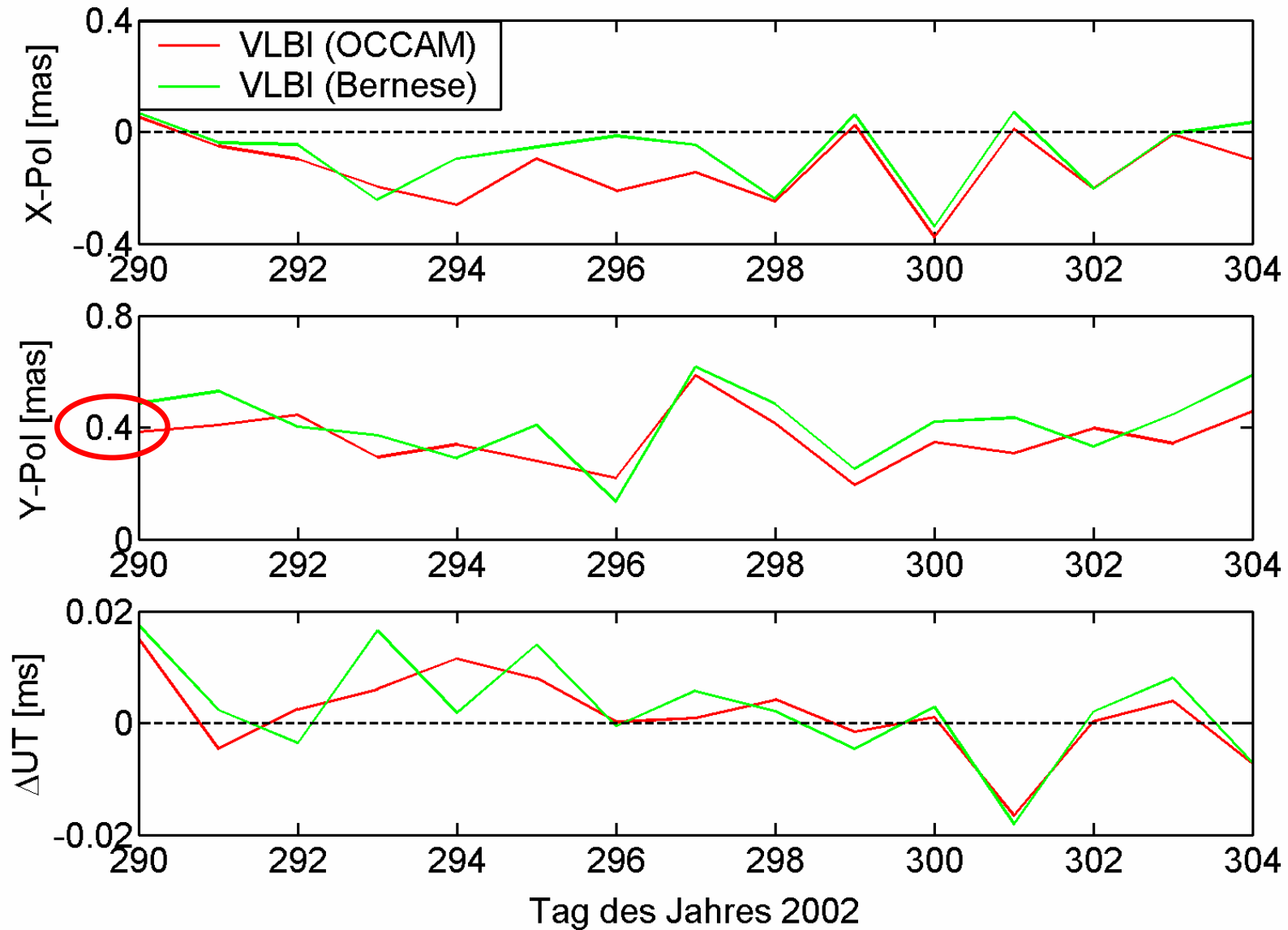
unterschiedliche Modellierung:  
OCCAM → stückweise konstant  
Bernese → stückweise stetig

# Stündliche Erdrotationsparameter

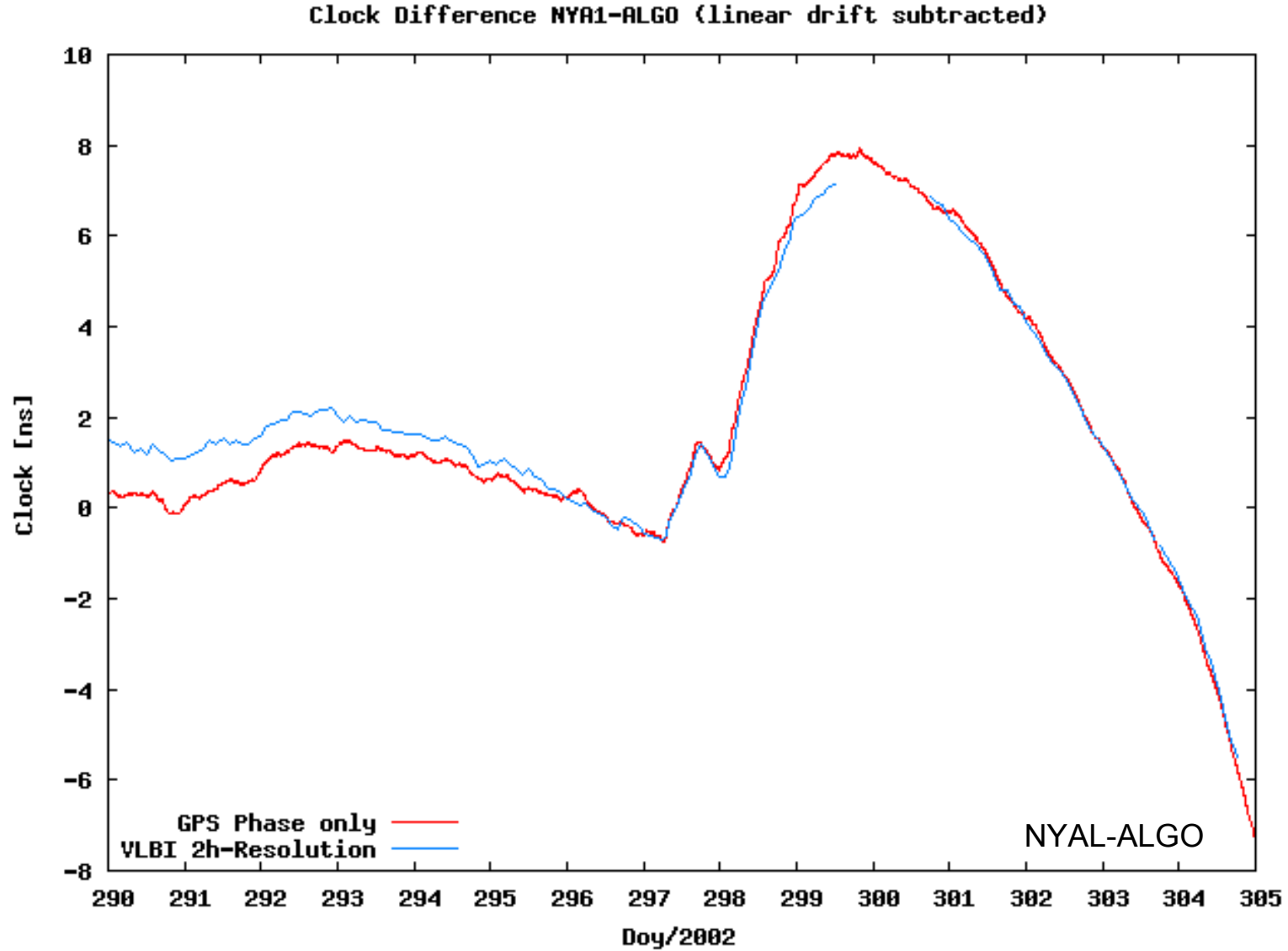


- Differenzen (OCCAM-Bernese) kaum kleiner als die Originalsignale
- vermutlich Auswirkung der vereinfachten Uhrmodellierung

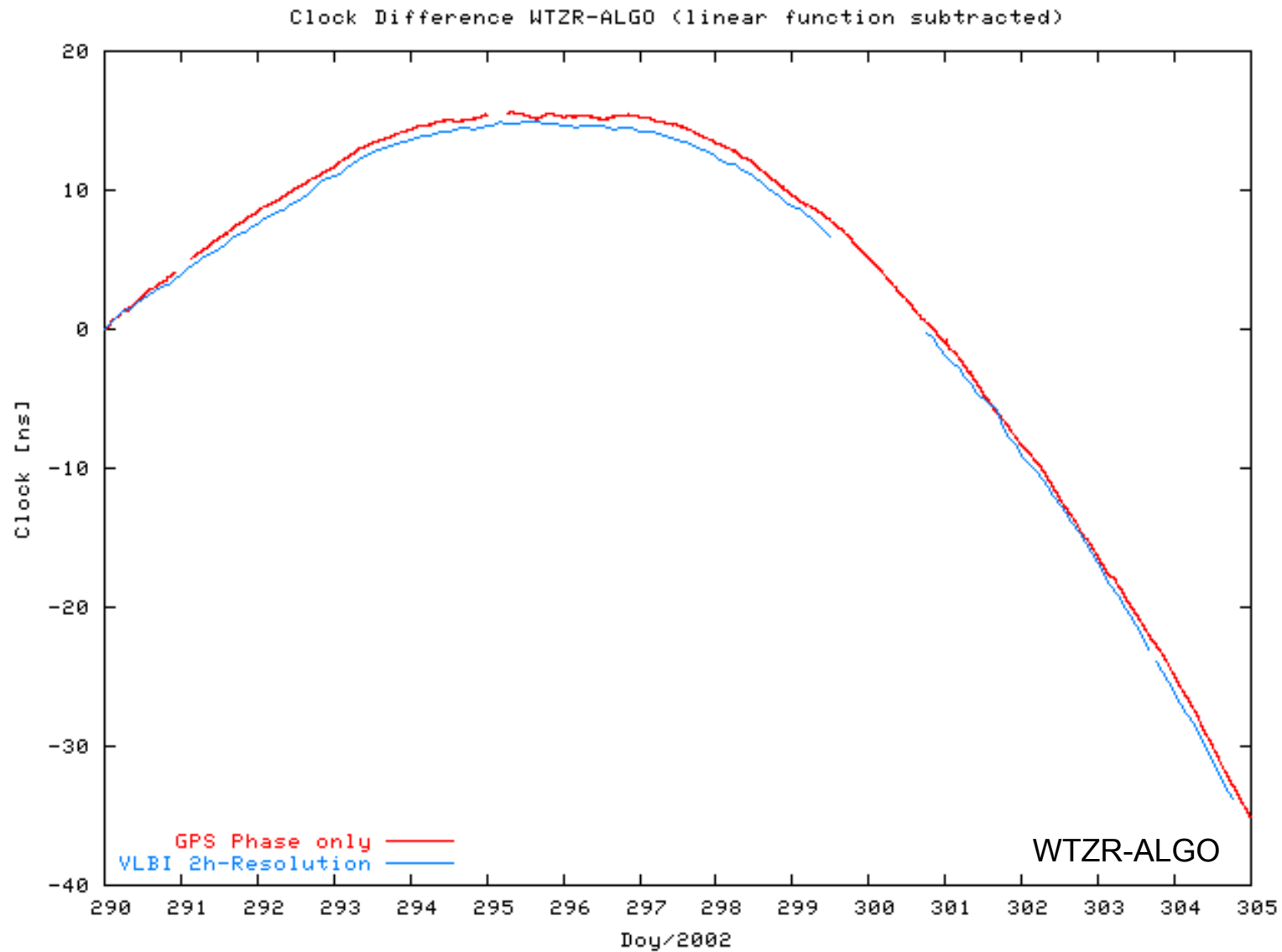
# Tägliche Erdrotationsparameter



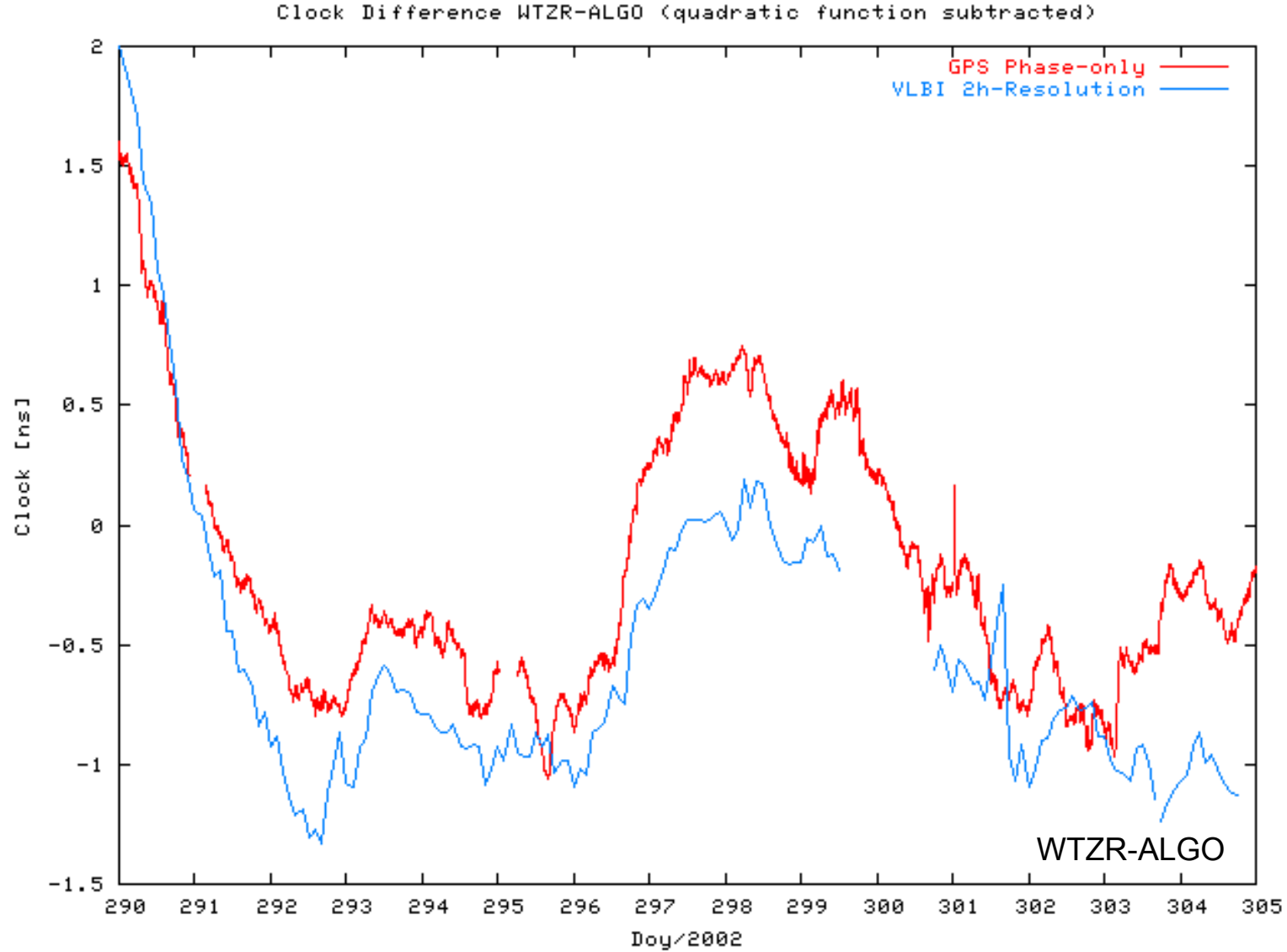
# Stationsuhren



# Stationsuhren



# Stationsuhren




# Zusammenfassung

- Bernese GPS Software entwickelt sich zu einer *Multi-Technique Software* (GNSS, SLR, VLBI, DORIS, Schwerefeld etc.)
- Trotz vereinfachter Modellierung bereits zufriedenstellende Übereinstimmung mit OCCAM- und GPS-Vergleichslösungen
- Systematische Differenzen in der troposphärischen Refraktion zwischen GPS und VLBI (Thaller, 2008) dürften auf Modellierungsdefizite zurückzuführen sein
- Vereinfachte Modellierung (insbesondere der Stationsuhren) nicht ausreichend für Schätzung subtäglicher ERP

# Ausblick

- Verschmelzung mit einer aktuellen Bernese-Version
- verbesserte **Modellierung**: Stationsuhren, Teleskopdeformationen, *Mapping Functions*, ...
- verbesserte **Automatisierung**
- zusätzliche **unbekannte Parameter**: Quasarkoordinaten, Achsenoffsets
- Kombination von VLBI und GNSS auf **Beobachtungsebene**
- *Database Format* (originäre Beobachtungen) statt *NGS Card Format* ?



Danke  
für Ihre  
Aufmerksamkeit

Foto: Schlüter