

## 1. Abstract

Wir verwenden die Vienna VLBI Software (VieVS) um Daten aus Very Long Baseline Interferometry (VLBI) zu analysieren. Mit dieser Software und den darin implementierten externen troposphärischen Dateien ist es möglich, Delays aus Raytracing zu verwenden und mit anderen Modellen zu vergleichen. Für unsere Studie wurde das CONT08 Experiment mit verschiedenen Modellen ausgewertet und Length-of-day aus Intensive Sessions mit Daten aus GPS verglichen. Wir finden Verbesserungen von 4.5% bei Verwendung von Delays aus Raytracing.

## 2. Troposphärische Laufzeitverzögerung

Elektromagnetische Wellen werden beim Durchschreiten der Erdatmosphäre im Allgemeinen gebeugt und verzögert. Dieser Effekt stellt eine der größten Fehlerquellen für geodätische Raumverfahren dar.

Ein häufig verwendeter Ansatz spaltet den Delay auf in eine Zenitlaufzeitverzögerung und eine Mapping Function für die Elevationsabhängigkeit. Die aktuell genaueste Mapping Function ist die Vienna Mapping Function1 (VMF1).

Außerdem können auch aus numerischen Wettermodellen die Laufzeitverzögerung abgeleitet werden. Raytracing (siehe 4. Raytracing) wird in Zukunft eine immer größere Rolle in geodätischen Auswertungen spielen.

Externe Datensätze, wie von der IVS Arbeitsgruppe 4 vorgeschlagen, erhöhen die Flexibilität bei der Auswertung. Die Vienna VLBI Software wurde bereits adaptiert um mit diesen externen Daten umgehen zu können.

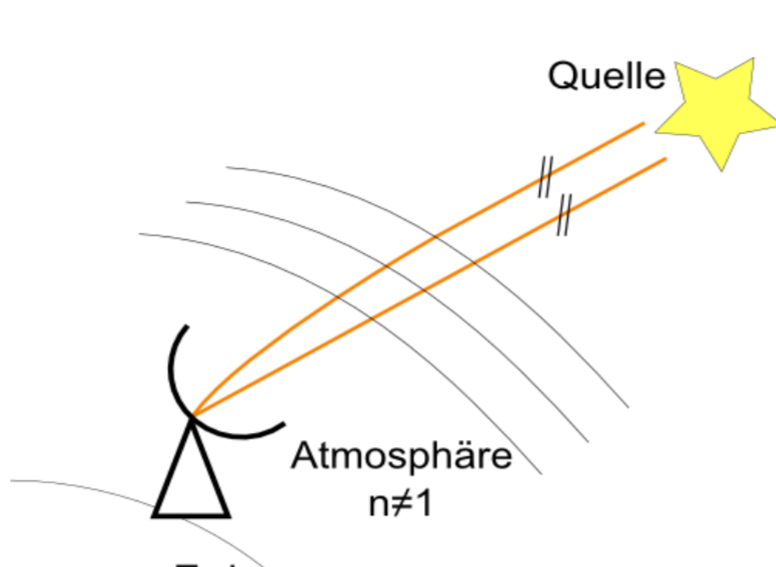


Abb. 1 Einfluss der Atmosphäre auf eine elektromagnetische Welle

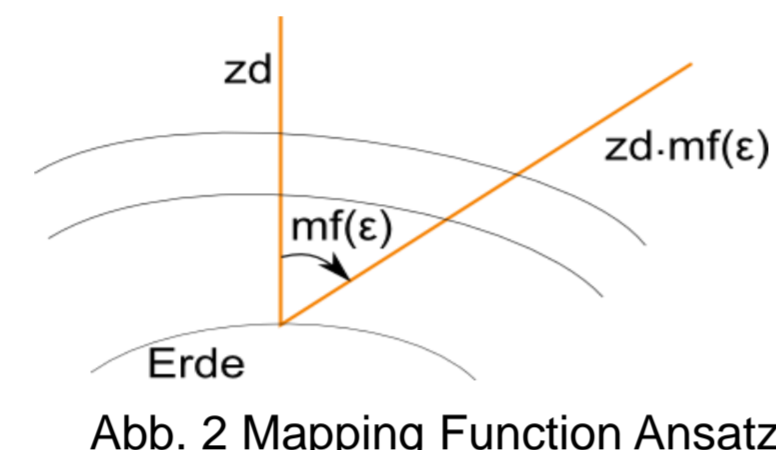


Abb. 2 Mapping Function Ansatz

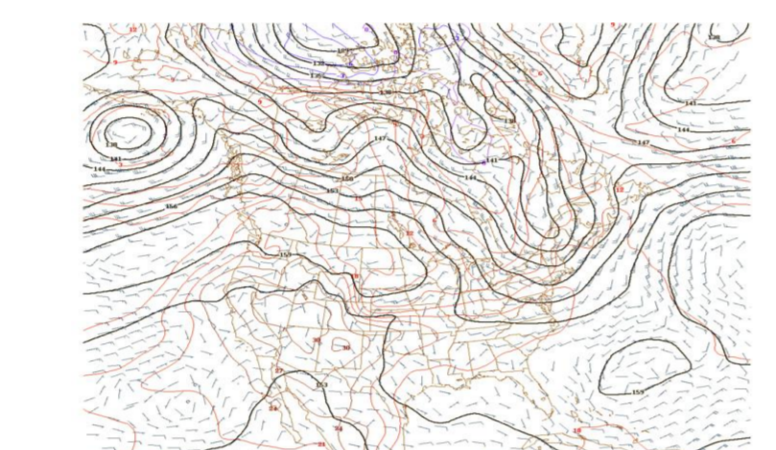


Abb. 3 Beispiel einer Wettervorhersagekarte (Wikipedia)

ID	Station	Date	Model	Value	Unit
01	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	RYTRACED	4.23589 36.34410	986.6 3.6
02	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF1	4.11938 4.46445	980.1 14.3
03	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF2	4.11938 4.46445	980.1 14.3
04	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF3	4.11938 4.46445	980.1 14.3
05	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF4	4.11938 4.46445	980.1 14.3
06	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF5	4.11938 4.46445	980.1 14.3
07	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF6	4.11938 4.46445	980.1 14.3
08	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF7	4.11938 4.46445	980.1 14.3
09	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF8	4.11938 4.46445	980.1 14.3
10	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF9	4.11938 4.46445	980.1 14.3
11	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF10	4.11938 4.46445	980.1 14.3
12	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF11	4.11938 4.46445	980.1 14.3
13	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF12	4.11938 4.46445	980.1 14.3
14	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF13	4.11938 4.46445	980.1 14.3
15	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF14	4.11938 4.46445	980.1 14.3
16	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF15	4.11938 4.46445	980.1 14.3
17	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF16	4.11938 4.46445	980.1 14.3
18	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF17	4.11938 4.46445	980.1 14.3
19	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF18	4.11938 4.46445	980.1 14.3
20	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF19	4.11938 4.46445	980.1 14.3
21	OSADSI320A_0004	2 2008.08.13-00:04:20.0	VMF20	4.11938 4.46445	980.1 14.3

Abb. 4 Ausschnitt eines externen troposphärischen Datensatzes

## 5. Anwendung – Wiederholbarkeit von Basislinienlängen

Wiederholbarkeiten von Basislinienlängen stellen in der geodätischen VLBI ein probates Mittel dar um verschiedene Modelle miteinander zu vergleichen.

Dabei werden Zeitserien von Basislängen aus VLBI Sessions für die verschiedenen Modelle berechnet und daraus die Standardabweichung bestimmt.

Für diese Studie wurde das CONT08 Experiment herangezogen, das mit folgenden Modellen ausgewertet wurde: (1) Ein Standardmodell, das aus Druckmesswerten an der Station die Zenitverzögerung bestimmt und mit der VMF1 die schräge Laufzeitverzögerung berechnet. (2) Ein Modell das ebenfalls die VMF1 als Mapping Function nutzt, die Zenitverzögerung aber aus numerischen Wettermodellen ableitet. (3) Raytracing aus numerischen Wettermodellen.

Für die VLBI Auswertung wurden externe troposphärische Dateien für die drei Modelle verwendet. Die aus den Ergebnissen abgeleiteten Wiederholbarkeiten sind in der Abbildung rechts dargestellt.

Die Modelle liefern ähnliche Ergebnisse, wobei Unterschiede stark abhängig von den Station sind. Raytracing zum Beispiel liefert gute Ergebnisse für die Station TIGO Concepción (Chile), schlechtere für Tsukuba (Japan).

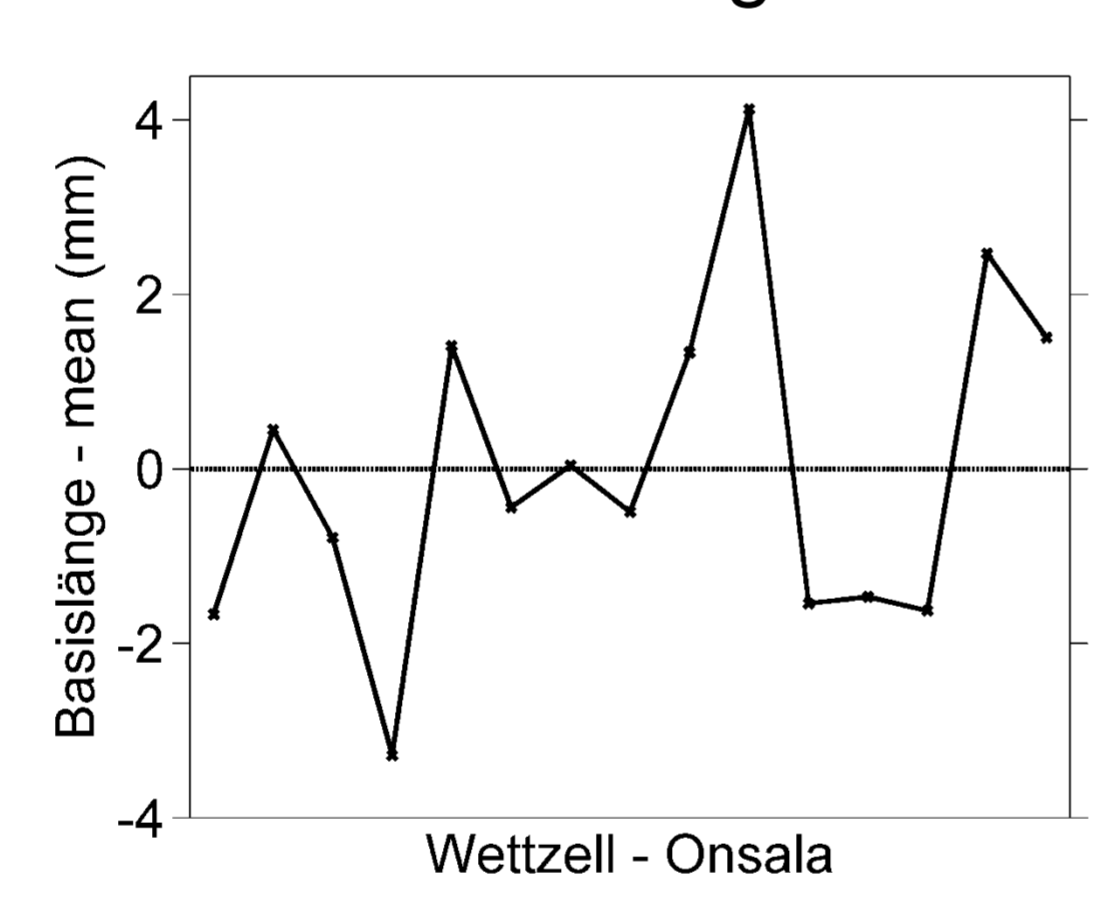


Abb. 8 Schätzungen einer Basislänge aus CONT08



Abb. 9 CONT08 VLBI Stationen (IVS Webseite)

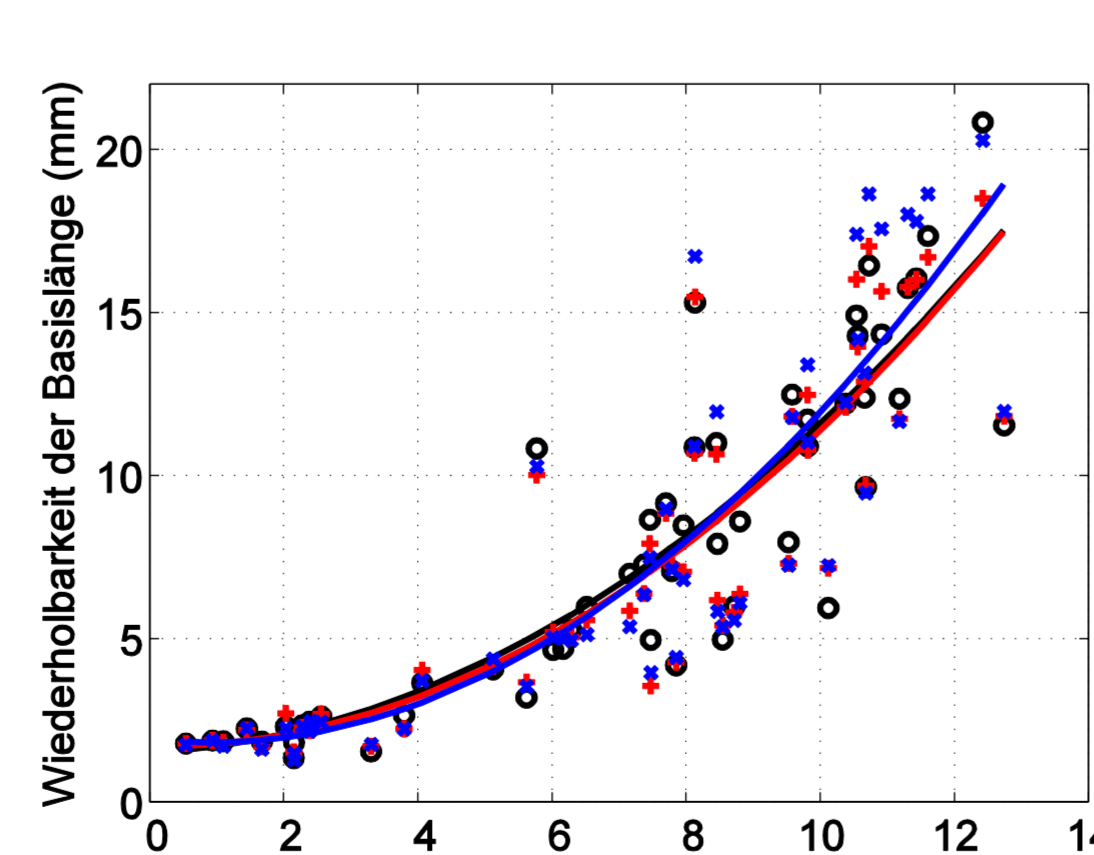


Abb. 10 Wiederholbarkeit der Basislängen aus CONT08 für drei Modelle

## Quellen

- Böhm, J., H. Schuh: Vienna Mapping Functions in VLBI Analyses, Geophysical Research Letters, 31, L01603, doi:10.1029/2003GL018984, 2004
- Gipson, J.: IVS Working Group: VLBI Data Structures, IVS General Meeting Proceedings, p.187-191, 2010
- Nafisi, V. et al.: Ray-traced tropospheric slant delays in VLBI analysis, VGI 2/2011, p.149-153, 2011
- Nilsson, T. et al.: Status and future plans for the Vienna VLBI Software VieVS, 20th EVGA Meeting, Bonn, 20-31 March 2011
- IVS webpage: <http://ivscc.gsfc.nasa.gov/>

## 3. Vienna VLBI Software

Die Auswertesoftware VieVS wird seit 2008 am Institut für Geodäsie und Geophysik der Technischen Universität Wien entwickelt. Sie besitzt ein User Interface und wird in Matlab geschrieben um einen leichten Einstieg für Studenten und andere Wissenschaftler zu ermöglichen. VieVS ist mit aktuellen Modellen und den Vorgaben der IERS Konventionen ausgestattet und ist damit eine state-of-the-art Auswertesoftware für VLBI. VieVS wurde modular aufgebaut um eine hohe Flexibilität zu gewähren. Die Hauptmodule sind (1) vie\_init zum Einlesen der Daten, (2) vie\_mod zum Berechnen des theoretischen Delays

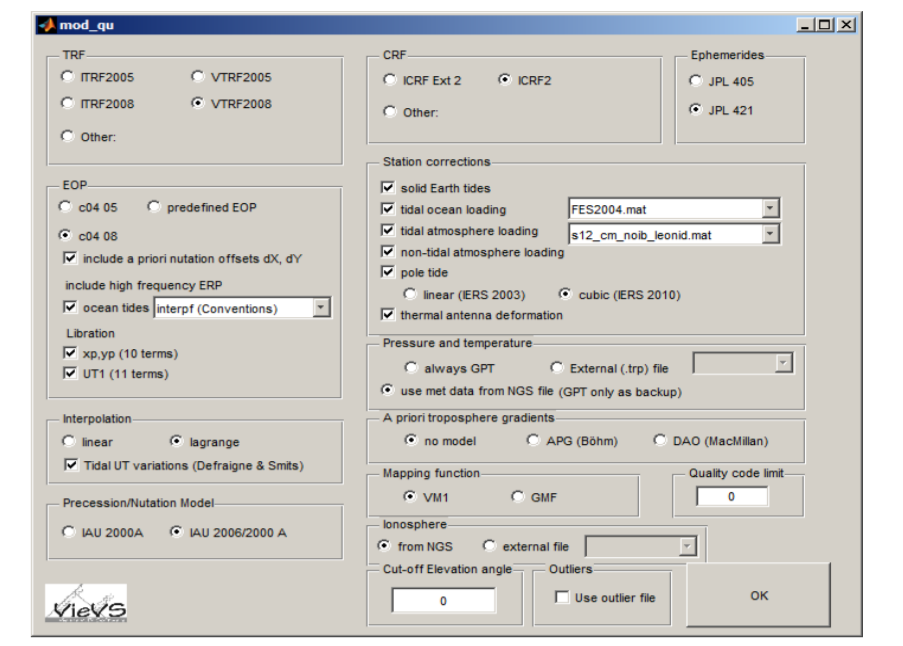


Abb. 5 VieVS User Interface

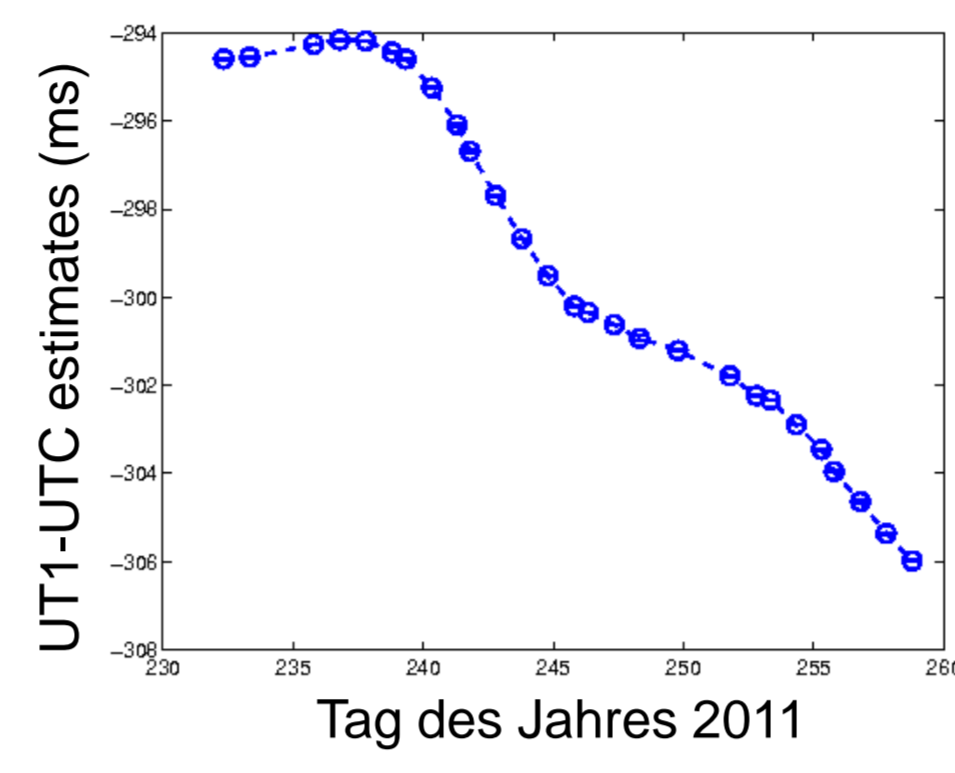


Abb. 6 UT1-UTC der letzten 30 Tage berechnet mit VieVS

anhand der Modelle und (3) vie\_ism für die Parameterbestimmung nach der Methode der kleinsten Quadrate. Ergänzend wurden noch Zusatzmodule entwickelt, die gemeinsam mit den drei Hauptmodulen verwendet werden. Diese sind ein Simulationsmodul (vie\_sim), ein Scheduling-Programm (vie\_sched) und ein Modul zur Bestimmung globaler Parameter (vie\_glob).

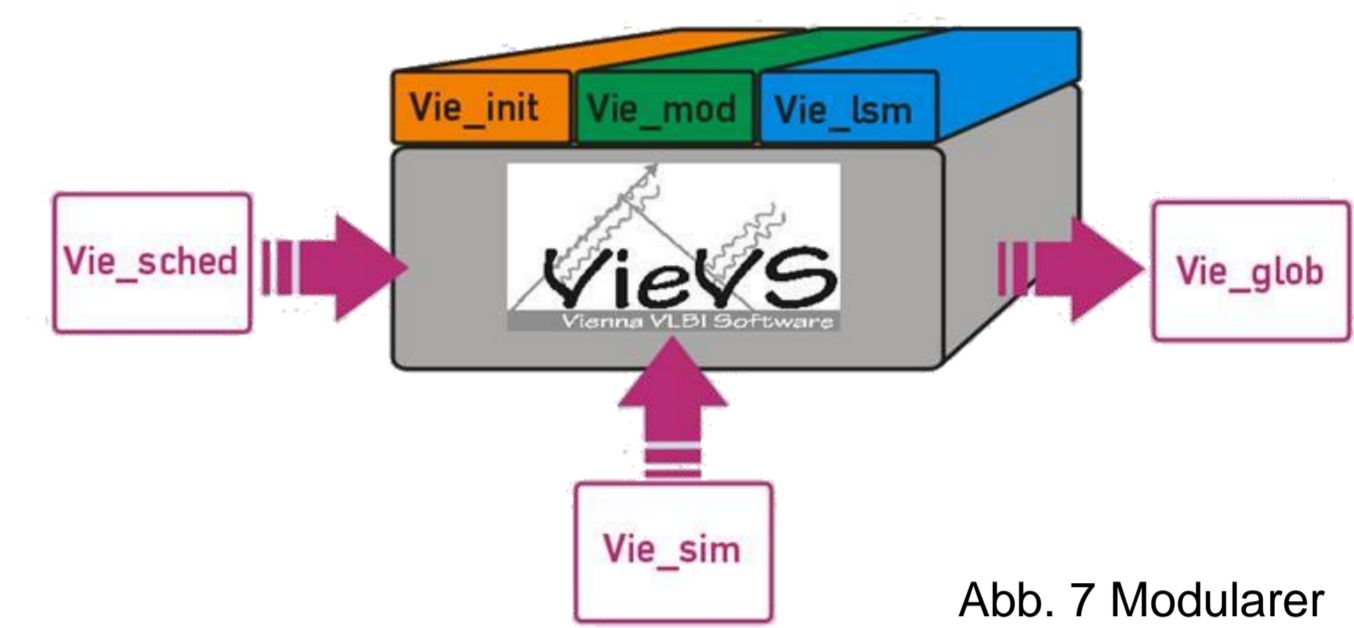


Abb. 7 Modularer Aufbau der Software

## 4. Raytracing

Am Institut für Geodäsie und Geophysik wurde ein Raytracing Algorithmus entwickelt, der, basierend auf Daten von numerischen Wettermodellen (NWM), die Eikonalgleichung löst um daraus den Signalverlauf einer elektromagnetischen Welle (VLBI Signal im GHz Bereich) zu rekonstruieren. Aus der Differenz zum Signalverlauf im Vakuum lässt sich so die Laufzeitverzögerung eines Signals bestimmen.

Aufgrund der Verbesserungen hinsichtlich Genauigkeit und Auflösung von NWM liefert dieses Verfahren bereits ähnlich genaue Ergebnisse wie Standardverfahren und wird in Zukunft eine große Rolle bei der Modellierung der troposphärischen Laufzeitverzögerung spielen.

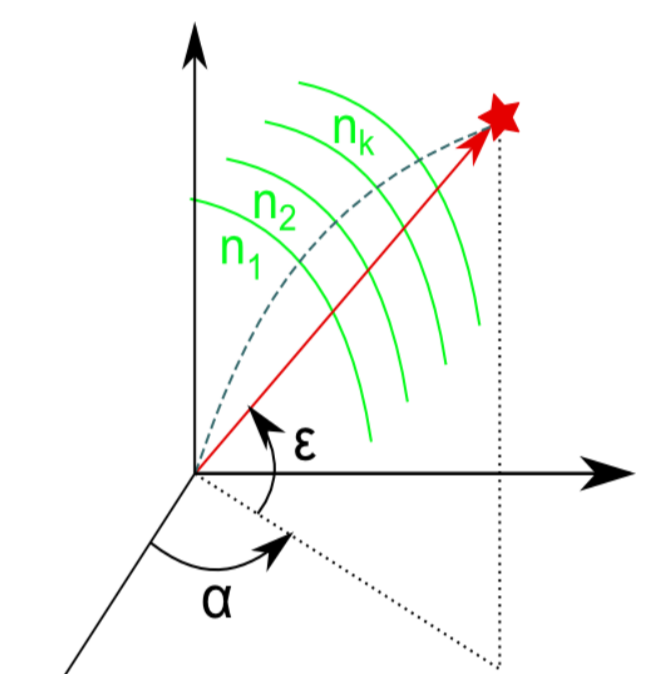


Abb. 8 Modell des Raytracings

Die externen Datensätze erlauben eine einfache Einbindung in die Vienna VLBI Software und die Möglichkeit des Austauschs für andere Nutzer.

## 6. Anwendung – UT1-UTC aus VLBI Intensive Sessions

Intensive Sessions – einstündige VLBI Beobachtungen – finden täglich statt, um in kurzen Abständen UT1-UTC zu bestimmen. Diese Sessions werden mit nur zwei bis drei Stationen durchgeführt, Stationskoordinaten und alle anderen EOP werden nicht in der Auswertung mitgeschätzt. Aufgrund der relativ geringen Anzahl an Scans (ca. 7 bis 44) wird so eine genügend große Überbestimmung gewährleistet.

Mit VieVS wurden Intensive Sessions von Mitte Juli 2010 bis Ende April 2011, die Tsukuba (Japan) und/oder Wetzell (Deutschland) beinhalten, mit verschiedenen Modellen ausgewertet. UT1-UTC Werte wurden bestimmt und diese in Tageslängen (length-of-day, lod) umgerechnet.

Da GPS length-of-day bestimmen kann, wurden Daten des IGS (International GNSS Service) herangezogen um lod aus VLBI zu validieren. Drei verschiedene Modelle für die Laufzeitverzögerung wurden verwendet. Die Standardabweichungen sind in der Tabelle angegeben. Zusätzlich zu den drei Modellen wurde auch noch nach Stationszugehörigkeit aufgespalten, um den Einfluss von Raytracing bestimmen zu können. Raytracing liefert bessere Ergebnisse und ermöglicht damit eine genauere Bestimmung von UT1-UTC. Bei Sessions ohne Wetzell beträgt die Verbesserung sogar 4 µs (23%).

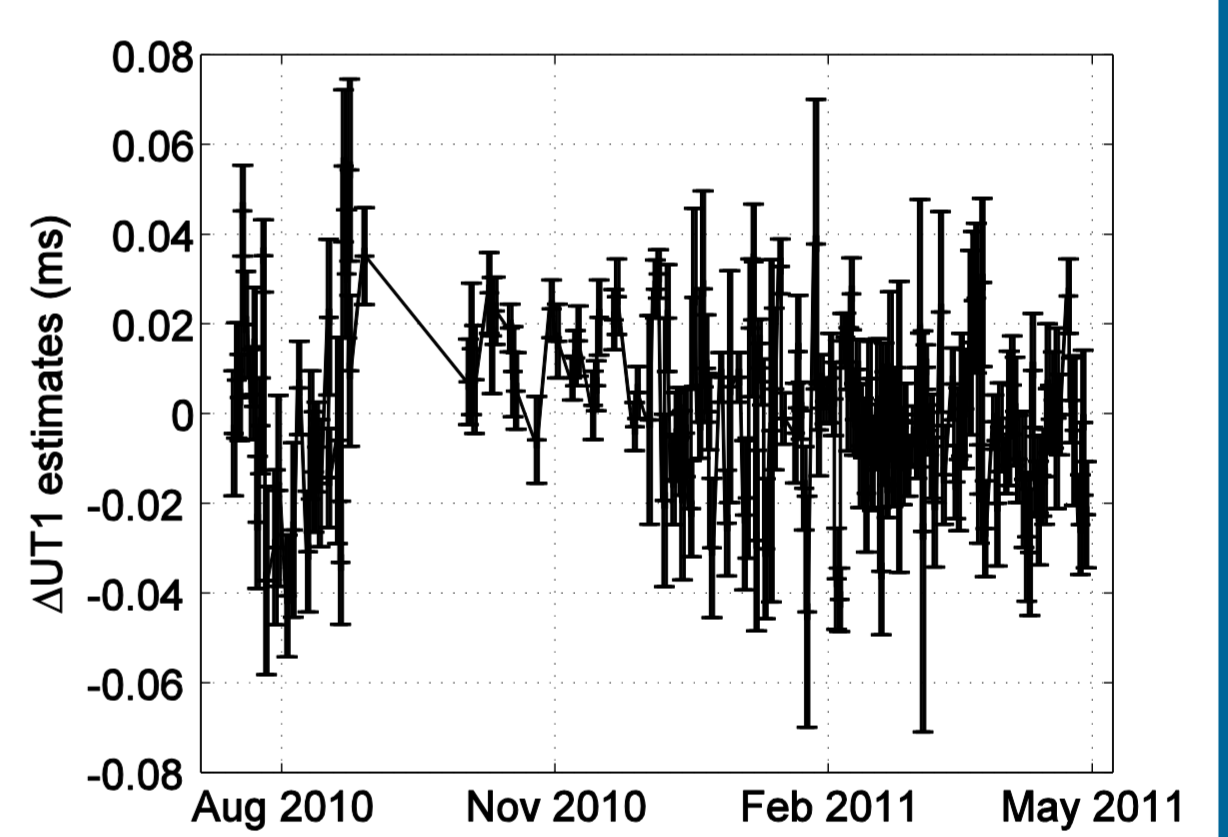


Abb. 11 UT1-UTC aus Intensive Sessions mit VieVS

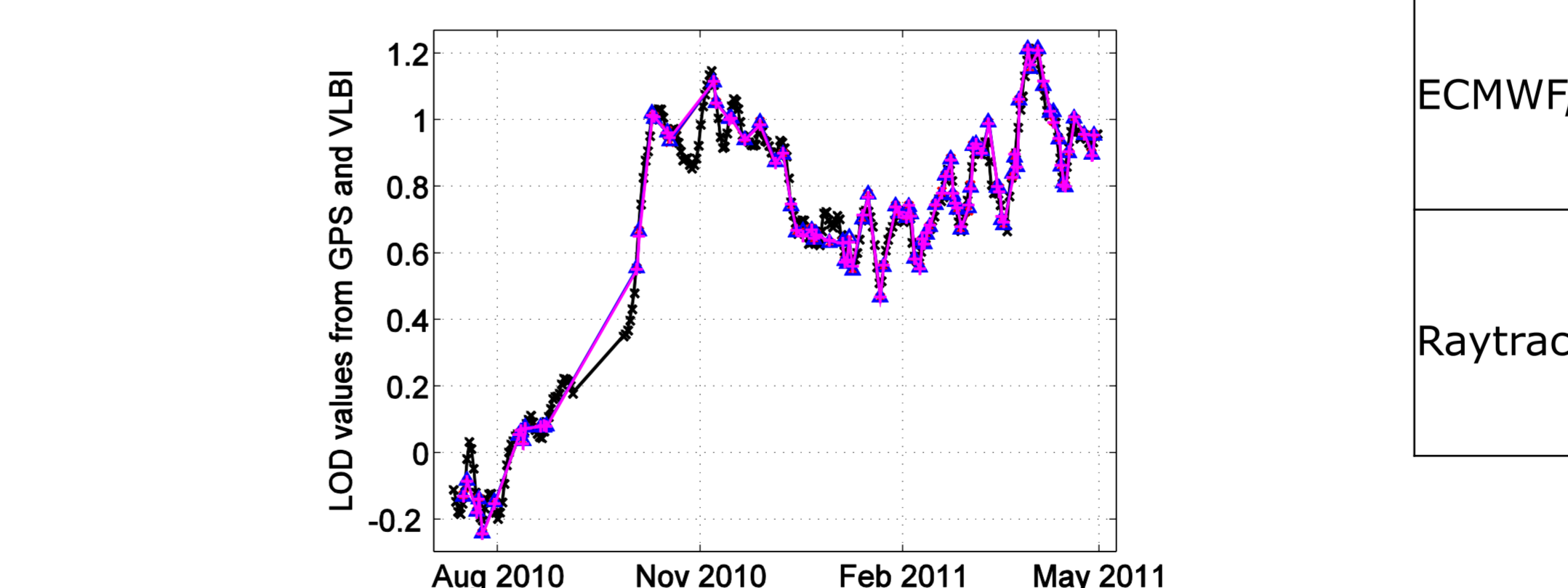


Abb. 12 Lod aus VLBI und GPS

Model	Sessions containing	# values	σ (µs)
Surface pressure model	Tsuk + Wett	13	26,5
	Wetzell only	68	28,5
	Tsukuba only	12	17,0
	<b>all</b>	<b>93</b>	<b>26,8</b>
ECMWF, VMF1	Tsuk + Wett	13	25,8
	Wetzell only	68	28,2
	Tsukuba only	12	17,3
	<b>all</b>	<b>93</b>	<b>26,6</b>
Raytracing	Tsuk + Wett	13	26,6
	Wetzell only	68	27,2
	Tsukuba only	12	13,0
	<b>all</b>	<b>93</b>	<b>25,4</b>

Tab. 1. Standardabweichungen der Validierung mittels GPS für verschiedene Modelle

## 7. Zusammenfassung

Die Vienna VLBI Software ist ein state-of-the-art Auswerteprogramm das am Institut für Geodäsie und Geophysik der TU Wien zur Prozessierung von VLBI Daten verwendet wird.

Die neueste Version 1d beinhaltet auch externe troposphärische Datensätze und erlaubt damit die Verwendung von Raytracing. Bei der Auswertung von CONT08 liefern alle drei getesteten Modelle ähnliche Ergebnisse bei der Wiederholbarkeit wobei sie bei genauerer Betrachtung je nach Station unterschiedlich gut modellieren. Bei der Auswertung von Intensive Sessions – wo nur eine Laufzeitverzögerung pro Station bestimmt wird – wird length-of-day mit Hilfe von Raytracing genauer bestimmt. Die aus UT1-UTC in Tageslängen umgerechneten Werte wurden mit Tageslängen aus GPS verglichen um eine Validierung durchzuführen. Die Genauigkeit (Standardabweichung zu GPS) wird mit Raytracing um durchschnittlich mehr als 1,2 µs (4,5%) erhöht.

## Acknowledgement

The research was funded by the Austrian Science Fund (FWF): P20902-N10.