

# Berechnung von unkalibrierten Phasenverzögerungen für Echtzeit PPP

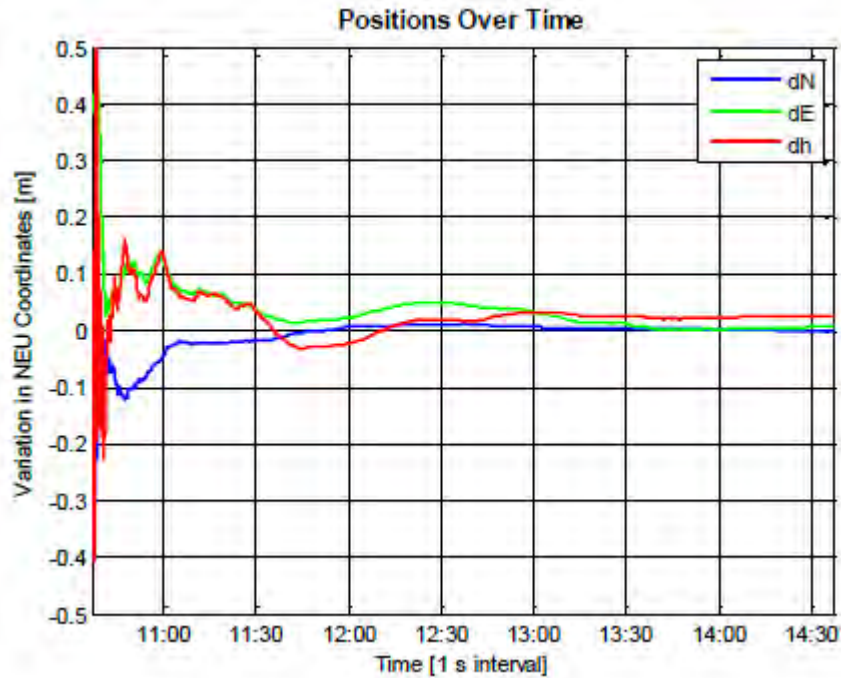
Fabian Hinterberger, Robert Weber und Jadre Maras  
Technische Universität Wien  
Department für Geodäsie und Geoinformation

Katrin Huber und Roman Lesjak  
Technische Universität Graz

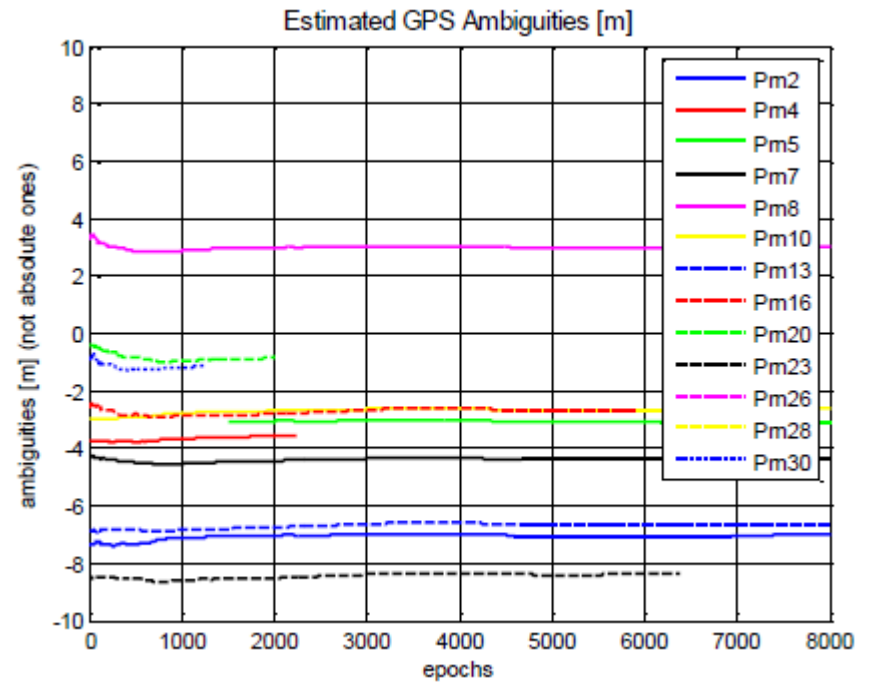
- Precise Point Positioning hat sich in den letzten Jahren zu einem brauchbaren Werkzeug für verschiedenste Anwendungen entwickelt
- Allerdings benötigt man bei PPP eine sehr lange Konvergenzzeit um cm Genauigkeit zu erreichen
  - Diese signifikante Konvergenzzeit ist der größte limitierende Faktor im Vergleich zu etablierten RTK Verfahren
- Ursache für die signifikante Konvergenzzeit sind sogenannte unkalibrierte Phasenverzögerungen (UPDs)
  - die Mehrdeutigkeiten verlieren ihre Ganzzahligkeit
  - verhindern eine einfache und schnelle Fixierung der Mehrdeutigkeiten

# Motivation

## ■ PPP Float Lösung



Positionsdifferenzen (NEU) der Floatlösung  
GRAZ087



Mehrdeutigkeiten der Floatlösung  
GRAZ087

- Gefördert durch die FFG (ASAP 8)  
Start April 12 2014



- Berechnung der **uncalibrated phase delays (UPDs)** der Satelliten in einer Netzwerklösung

- Post-processing
- Echtzeit



- **Modifizierte PPP Prozessierung**

- Die UPDs werden an den Beobachtungen angebracht
- Wiederherstellung der Ganzzahligkeit der Mehrdeutigkeiten
  - Fixierung der Mehrdeutigkeiten zur Reduzierung der Konvergenzzeit

- PPP basiert auf Zweifrequenz Code- und Phasenmessungen eines Empfängers
- Bildung der ionosphärenfreien Linearkombination
  - Der Term erster Ordnung wird eliminiert -> ~99.9%
  - Das Rauschen ist im Vergleich zur L1 Beobachtung um den Faktor 3 erhöht.
- Satellitenposition und Satellitenuhrfehler werden als bekannt angenommen

$$P_{k,3}^i = \rho_k^i + c\delta t_k + \delta_{tro} + \varepsilon_{P,3}$$

$$L_{k,3}^i = \rho_k^i + c\delta t_k + \delta_{tro} + \lambda_3 B_{k,3}^i + \varepsilon_{L,3}$$

$$\underbrace{N_{k,3}^i + \Delta\Theta_3^i - \Delta\Theta_{k,3}}_{\text{Integer Part, Satelliten UPD, Empfänger UPD}}$$



$i$ .....Satellit

$k$ .....Station

$\rho$ .....geometrische Distanz

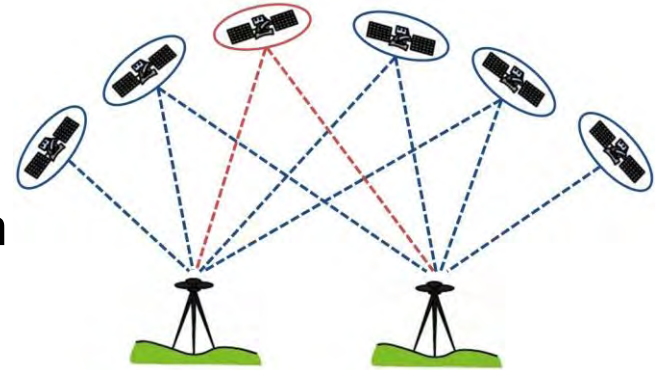
$\delta t_k$ .....Empfängeruhrfehler

$\delta_{tro}$ .....ZTD

$\varepsilon$ .....Rauschen

- Single Difference (SD) Beobachtungen

- Satellit zu Satellit
- Die empfängerspezifischen Fehler (UPDs, Empfängeruhrfehler) werden eliminiert.
- Ein **gemeinsamer Referenzsatellit**



- Umformulierung des Mehrdeutigkeitsterms

- Widelane / Narrowlane Kombination

$$L_{k,3}^{i,k} = \rho_k^{i,k} + c\delta t_k + \delta_{tro} + \lambda_3 B_{k,3}^{i,k} + \varepsilon_{P,3}$$

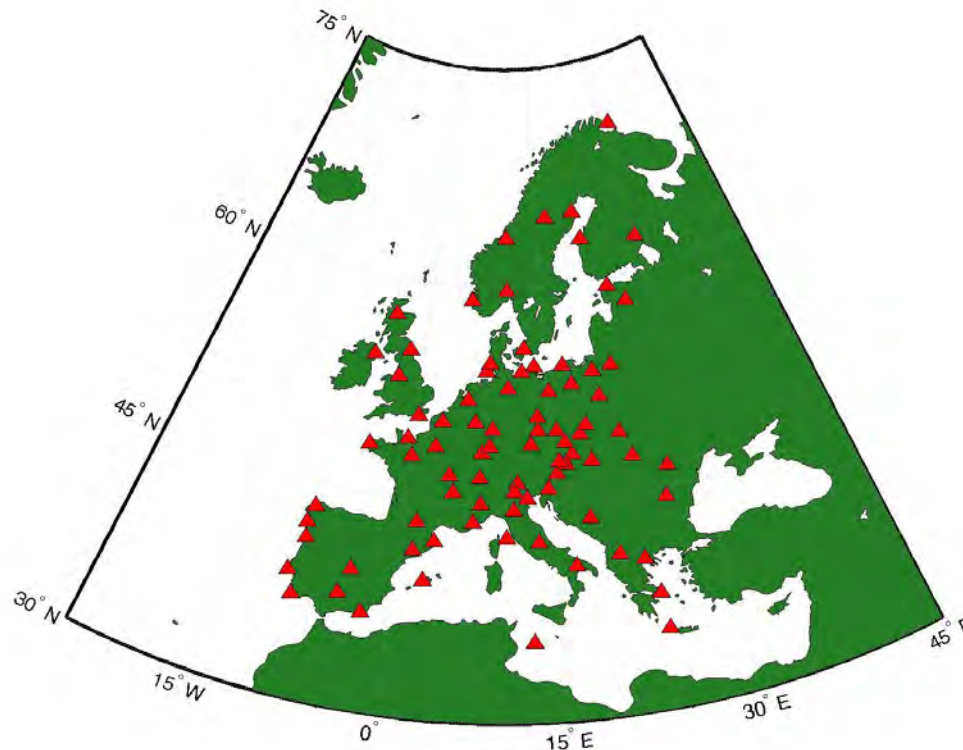
$$B_{k,3}^{i,j} = \frac{f_1}{f_1 + f_2} \left( n_n^{i,j} + \Delta\Phi_n^{i,j} \right) + \frac{f_1 f_2}{f_1^2 - f_2^2} \left( n_\omega^{i,j} + \Delta\Phi_\omega^{i,j} \right)$$

NL Mehrdeutigkeit  
Integer + UPD

WL Mehrdeutigkeit  
Integer + UPD

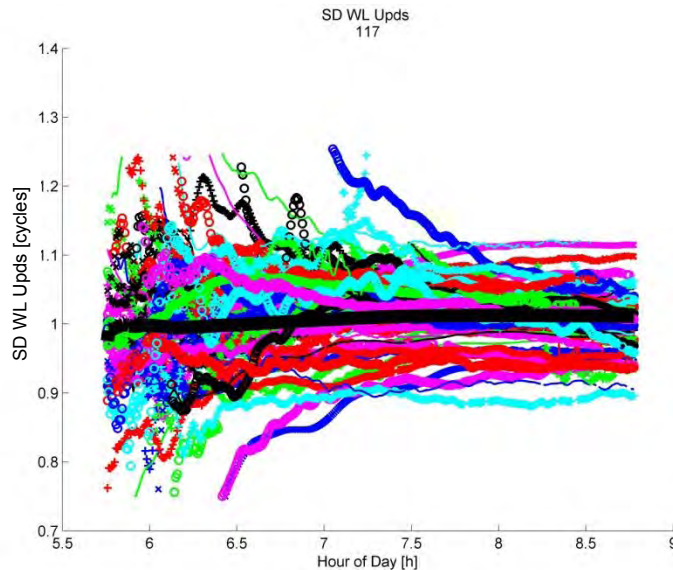
# Verwendete Daten

- Europäisches Stationsnetzwerk aus EUREF Stationen
- Verwendete externe Produkte
  - Präzise IGS Produkte (Orbits + Satellitenuhrkorrekturen)
  - DCBs von Code
  - Stationskoordinaten aus Wochenlösung von EUREF

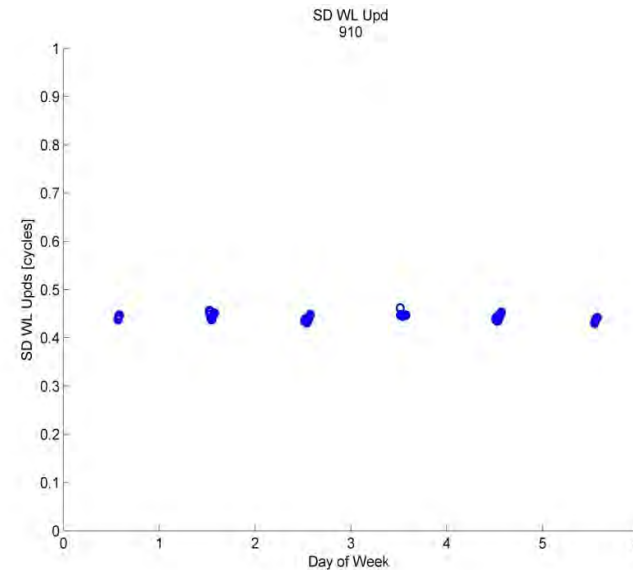


# Schätzung der SD WL UPDs

- **Melbourne-Wübbena** Kombination
  - besteht aus Widelane Mehrdeutigkeit ( $\sim 86$  cm), Satelliten spezifische UPDs und Rauschen.
- Die SD WL UPDs beobachtet an den Stationen werden in einem Kalmanfilter kombiniert
- Innerhalb einer Woche stabil
  - Können post prozessiert werden
- 0.1 WL Cycle  $\sim 8.4$  cm



SD WL UPD PRN: 1-17



SD WL UPD PRN 9-10



# Schätzung der SD NL UPDs

$$B_{k,3}^{i,j} = \frac{f_1}{f_1 + f_2} \left( n_n^{i,j} + \Delta\Phi_n^{i,j} \right) + \frac{f_1 f_2}{f_1^2 - f_2^2} \left( n_\omega^{i,j} + \Delta\Phi_\omega^{i,j} \right)$$

SD IF Mehrdeutigkeit  
geschätzt

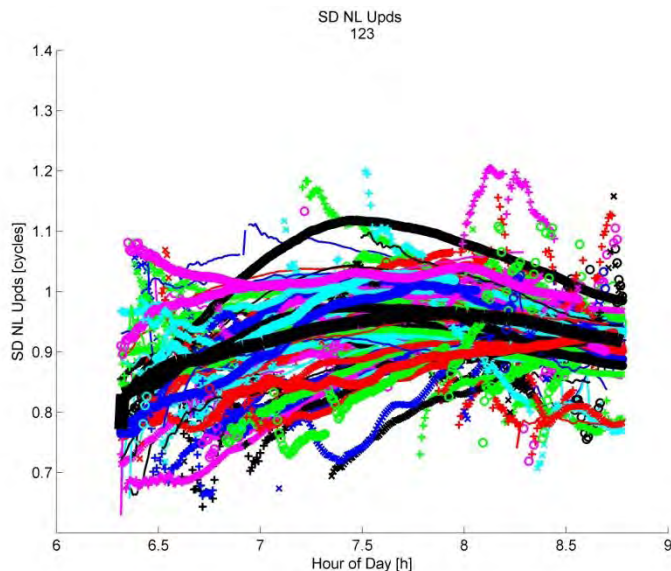
SD NL UPD  
unbekannt

WL Ambiguity  
bekannt

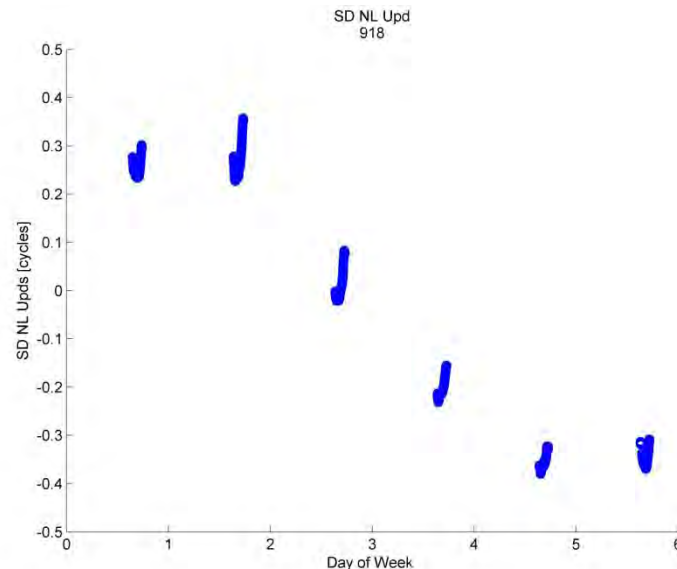
1. Schätzung von reell-wertigen  $B_{k,3}^{i,j}$ 
  - basierend auf einer SD PPP Lösung
  - Geschätzt werden die reell-wertigen **SD IF Mehrdeutigkeiten** und die ZTD
  - Alle anderen Fehlerquellen werden modelliert oder eliminiert
2. Subtraktion der fixierten **WL Mehrdeutigkeiten**
3. Schätzung der **NL UPDs**

# Schätzung der SD NL UPDs

- Die SD NL UPDs beobachtet an den Stationen werden in einem Kalmanfilter kombiniert
- Drifts innerhalb eines Intervalls und Sprünge zwischen den Intervallen
- Die Drifts könnten von nicht ausreichend modellierten Fehlern stammen (Satellitenuhr, Mappingfunktion, usw.)
- 0.1 NL Cycle  $\approx$  1 cm



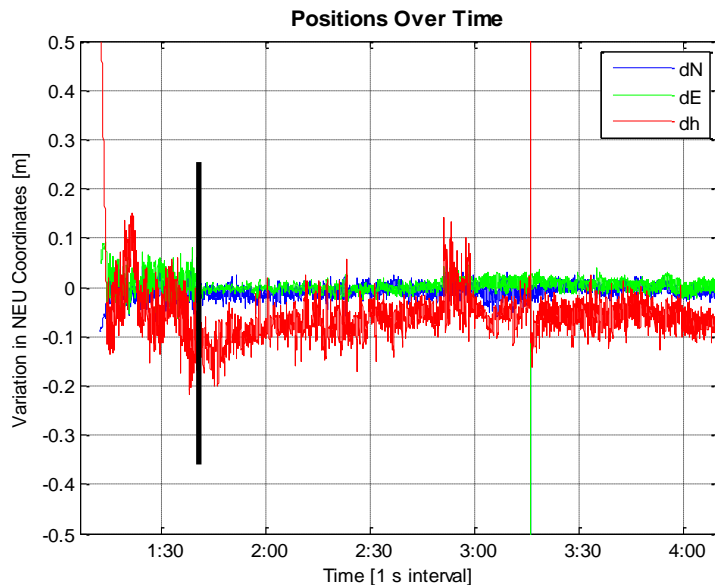
SD NL UPD PRN 1-23



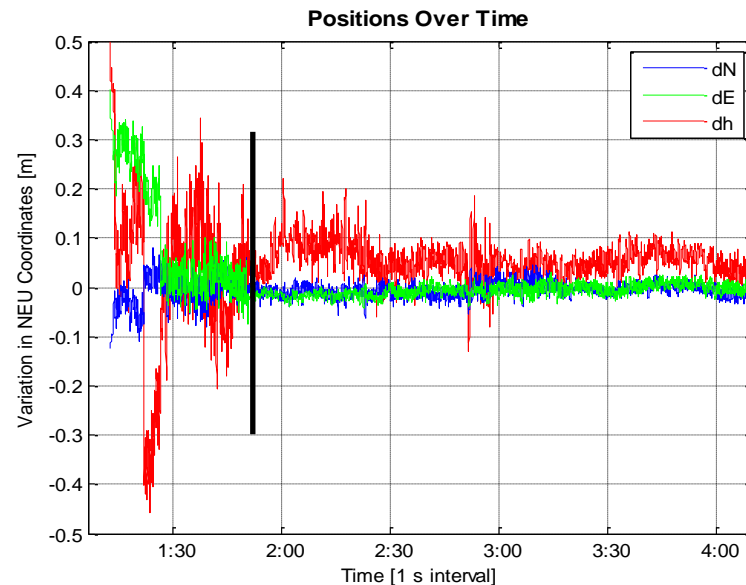
SD NL UPD PRN 9-18

# Anwendung der UPDs

- Wiederherstellung der Ganzzahligkeit der Mehrdeutigkeiten
  - Fixierung der Mehrdeutigkeiten zur Reduzierung der Konvergenzzeit
- Sobald 4 Mehrdeutigkeiten fixiert wurden bleibt die horizontale Position sehr stabil (1 – 2 cm)
- Konvergenzzeit beträgt zwischen 10 und 30 Min.



PPP fixed solution of DALA088

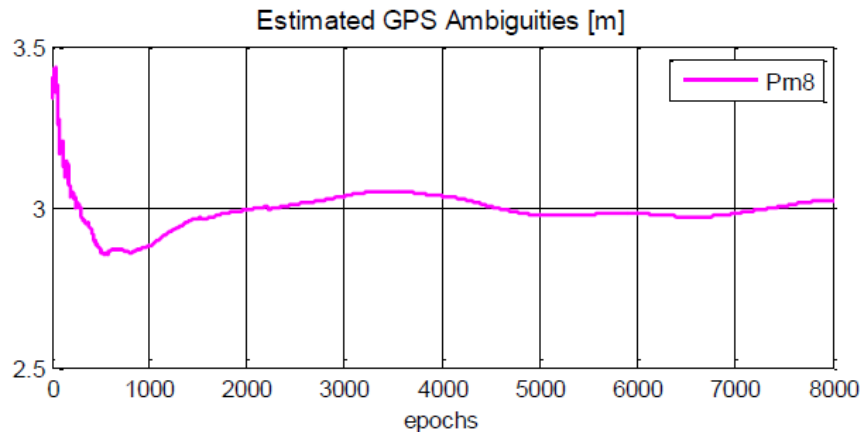


PPP fixed solution of GRAZ0880

# Optimierung der Konvergenzzeit

$$B_{k,3}^{i,j} = \frac{f_1}{f_1 + f_2} (n_n^{i,j} + \Delta\Phi_n^{i,j}) + \frac{f_1 f_2}{f_1^2 - f_2^2} (n_\omega^{i,j} + \Delta\Phi_\omega^{i,j})$$

- Entscheidend ist die Konvergenzzeit der Floatlösung

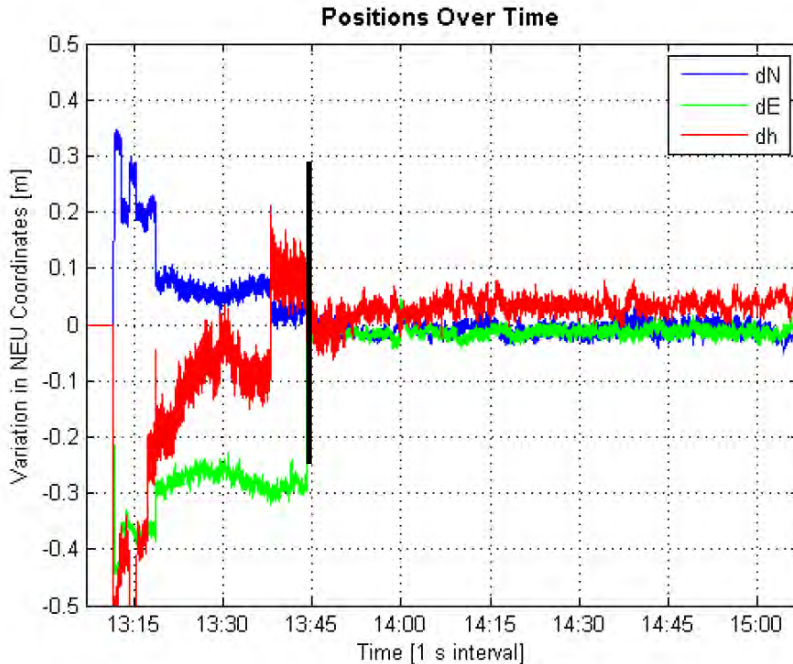


Float Mehrdeutigkeit PRN 8 GRAZ087.130  
1 Epoche = 1s

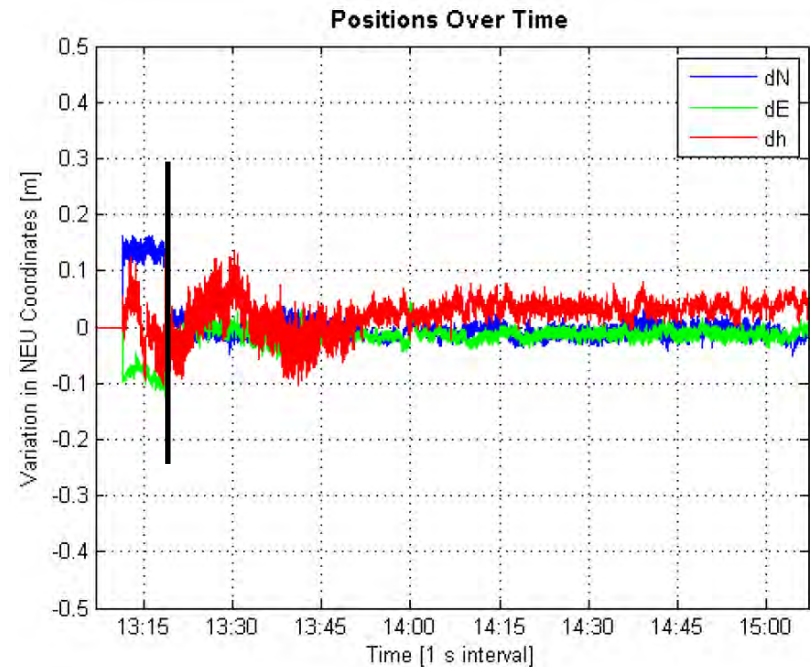
- Parameter mit Einfluss auf Konvergenzzeit
  - Anfangskoordinaten
  - Troposphärische Laufzeitverzögerung
  - Nicht modellierte Fehler

# Optimierung der Konvergenzzeit

- Einfluss der Anfangskoordinaten
  - Variation der Standardabweichung 5cm, 1m



SD PPP fixed Lösung (Std. 1m)  
GRAZ087



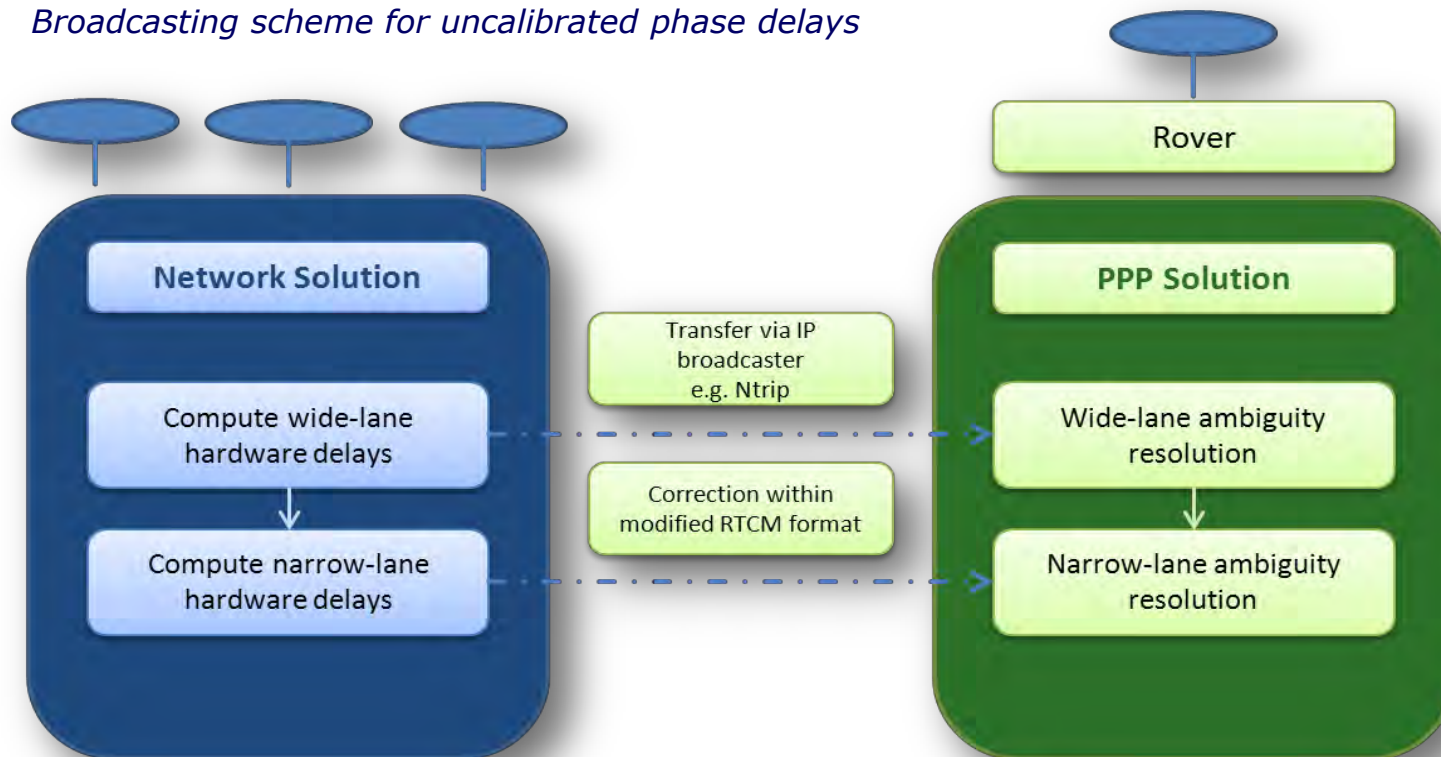
SD PPP fixed Lösung (Std. 5cm)  
GRAZ087

- In Bezug auf die Server Seite kann gesagt werden:
  - Die WL UPDs sind über mehrere Tage stabil und könnten auch im Post Processing geschätzt werden
  - Die NL UPDs sind stabiler als erwartet. Auf Grund von Drifts benötigen sie eine höhere Updaterate
  
- Aus Sicht des PPP Nutzer hängt eine **schnelle erfolgreiche** Fixierung der Mehrdeutigkeiten von folgenden Faktoren:
  - Qualität der UPDs
  - Konvergenzzeit der Floatlösung
    - Qualität der Orbits und Satellitenuhrkorrekturen
    - Satellitengeometrie
    - Die Anfangskordinaten des Rovers
    - Weitere unbekannte Parameter (troposphärische Laufzeitverzögerung)

**Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!**

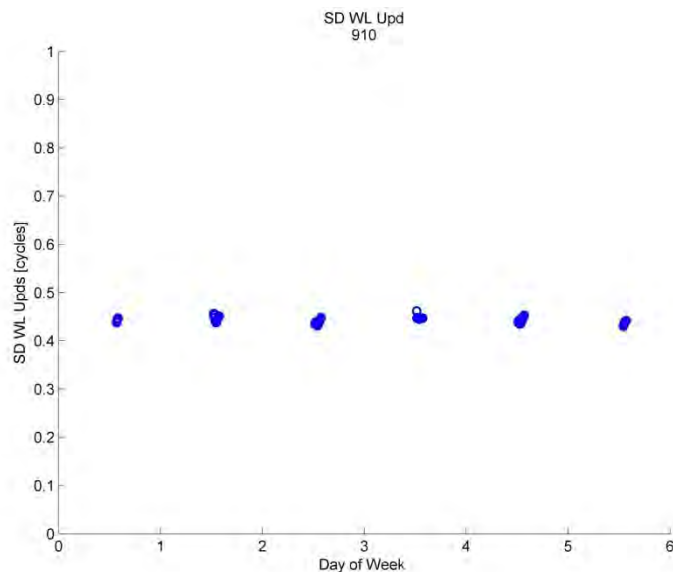
# Concept

*Broadcasting scheme for uncalibrated phase delays*

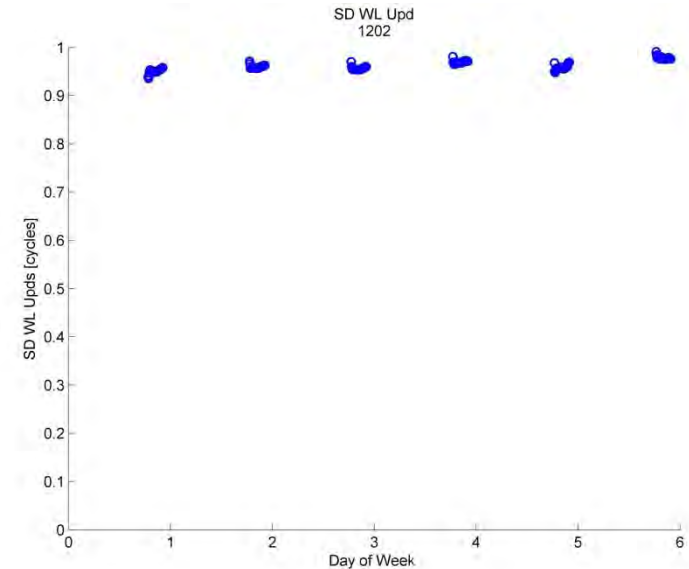




- SD WL UPDs
  - Innerhalb einer Woche stabil
  - Können post prozessiert werden



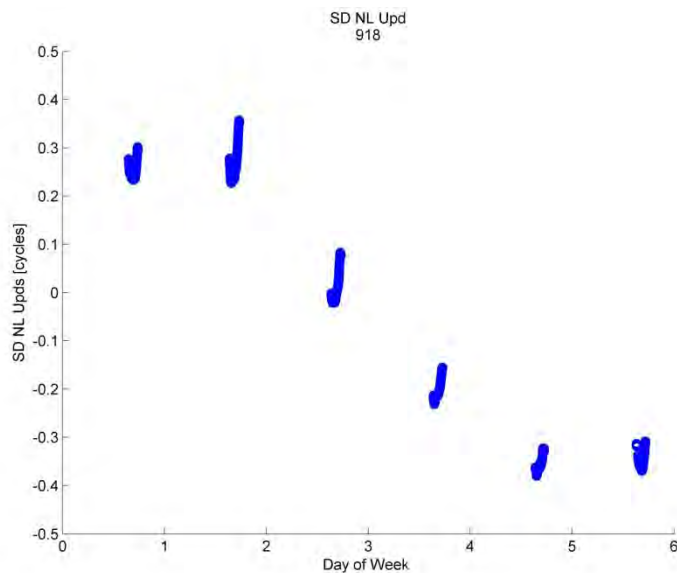
SD WL UPD PRN 9-10



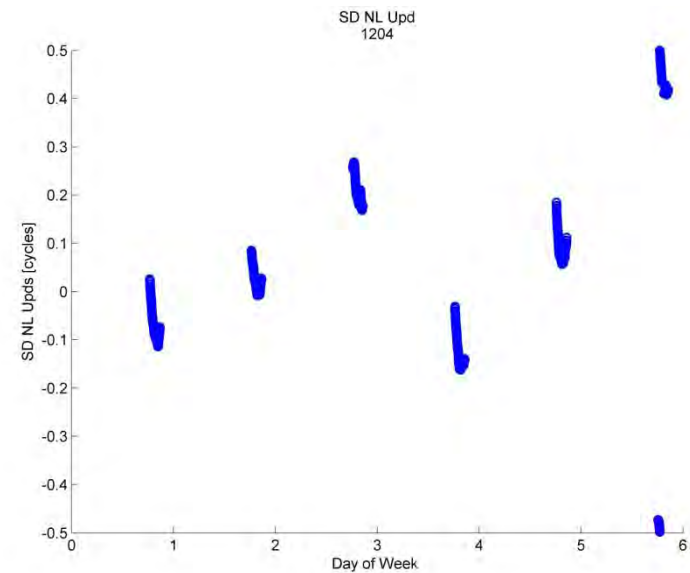
SD WL UPD PRN 12-2

## ■ SD NL UPDs

- Stabiler als erwartet
- Drifts innerhalb eines Intervalls
- Sprünge zwischen den Intervallen
- Die Drifts könnten von nicht ausreichend modellierten Fehlern stammen (Satellitenuhr, Mappingfunktion, usw.)



SD NL UPD PRN 9-18



SD NL UPD PRN 12-4