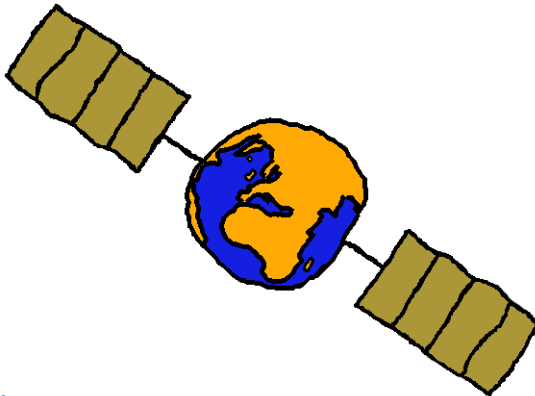


# Ansätze zur Multi-GNSS Prozessierung unter Verwendung allen Frequenzen und Signalen

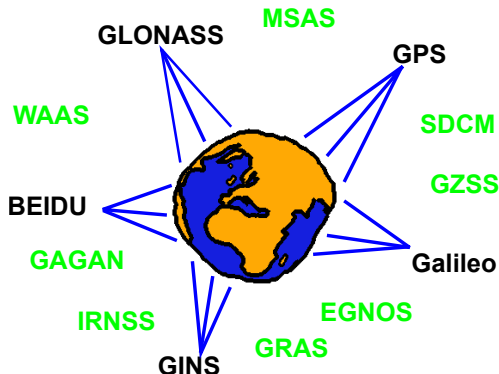


**Erik Schönemann**  
Institut für Physikalische Geodäsie  
Technische Universität Darmstadt

[schoenemann@ipg.tu-darmstadt.de](mailto:schoenemann@ipg.tu-darmstadt.de)

# Die Zukunft der Navigationssysteme

## Heterogen GNSS und Signale auf verschiedenen Frequenzen



# Die Zukunft der Navigationssysteme

## Heterogen GNSS und Signale auf verschiedenen Frequenzen

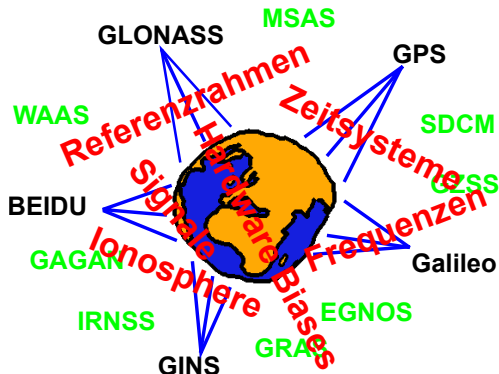


TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

Einführung

Aktuelle Untersuchungen am IPGD

Ausblick





- Elimination von Hardware Fehler durch Differenzenbildung <sup>1</sup>
  - SD => Satellit spezifische Fehler werden beseitigt
  - DD => Satellit und Stationspezifische Fehler werden beseitigt
- IGS Produkte basieren auf L3 Beobachtungen
  - PPP-Lösungen basieren hauptsächlich auf L3 Beobachtungen  
=> Hardware biases müssen nicht berücksichtigt werden
  - L1/L2 Auswertung => DCB<sup>2</sup>
- Schätzung der Phasenmehrdeutigkeiten als Integer  
=> UPD<sup>3</sup> werden benötigt

<sup>1</sup>Ge et al. 2008 / Blewitt 1989

<sup>2</sup>Differential Code Bias

<sup>3</sup>Uncalibrated Phase Delay



- Elimination von Hardware Fehler durch Differenzenbildung <sup>1</sup>
  - SD => Satellit spezifische Fehler werden beseitigt
  - DD => Satellit und Stationsspezifische Fehler werden beseitigt
- IGS Produkte basieren auf L3 Beobachtungen
  - PPP-Lösungen basieren hauptsächlich auf L3 Beobachtungen  
=> Hardware biases müssen nicht berücksichtigt werden
  - L1/L2 Auswertung => DCB<sup>2</sup>
- Schätzung der Phasenmehrdeutigkeiten als Integer  
=> UPD<sup>3</sup> werden benötigt

<sup>1</sup>Ge et al. 2008 / Blewitt 1989

<sup>2</sup>Differential Code Bias

<sup>3</sup>Uncalibrated Phase Delay

# Beobachtungsgleichung (PPP)



$$C_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(C_n)^S} + d_{del(C_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} + f * d_{ion} + d_{cco(C_n)^S} + d_{ccv(C_n)^S} + d_{cco(C_n)_r} + d_{ccv(C_n)_r} \\ + d_{mp(C)} + \epsilon(P) + Coord_{var}$$

$$L_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(L_n)^S} + d_{del(L_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} - f * d_{ion} + d_{pco(L_n)^S} + d_{pcv(L_n)^S} + d_{pco(L_n)_r} + d_{pcv(L_n)_r} \\ + d_w + \lambda * N + d_{mp(L_n)} + \epsilon(L) + Coord_{var}$$

## Code-/Phasenbeobachtung

# Beobachtungsgleichung (PPP)



$$C_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(C_n)^S} + d_{del(C_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} + f * d_{ion} + d_{cco(C_n)^S} + d_{ccv(C_n)^S} + d_{cco(C_n)_r} + d_{ccv(C_n)_r} \\ + d_{mp(C)} + \epsilon(P) + Coord_{var}$$

$$L_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(L_n)^S} + d_{del(L_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} - f * d_{ion} + d_{pco(L_n)^S} + d_{pcv(L_n)^S} + d_{pco(L_n)_r} + d_{pcv(L_n)_r} \\ + d_w + \lambda * N + d_{mp(L_n)} + \epsilon(L) + Coord_{var}$$

## Wahre geometrische Strecke

# Beobachtungsgleichung (PPP)



$$C_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(C_n)^S} + d_{del(C_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} + f * d_{ion} + d_{cco(C_n)^S} + d_{ccv(C_n)^S} + d_{cco(C_n)_r} + d_{ccv(C_n)_r} \\ + d_{mp(C)} + \epsilon(P) + Coord_{var}$$

$$L_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(L_n)^S} + d_{del(L_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} - f * d_{ion} + d_{pco(L_n)^S} + d_{pcv(L_n)^S} + d_{pco(L_n)_r} + d_{pcv(L_n)_r} \\ + d_w + \lambda * N + d_{mp(L_n)} + \epsilon(L) + Coord_{var}$$

## Uhren- und relativistische Effekte auf das Signal

- Korrigiert durch Modelle (Ausnahme: Empfängeruhr wird geschätzt)



# Beobachtungsgleichung (PPP)



$$C_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(C_n)^S} + d_{del(C_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} + f * d_{ion} + d_{cco(C_n)^S} + d_{ccv(C_n)^S} + d_{cco(C_n)_r} + d_{ccv(C_n)_r} \\ + d_{mp(C)} + \epsilon(P) + Coord_{var}$$

$$L_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(L_n)^S} + d_{del(L_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} - f * d_{ion} + d_{pco(L_n)^S} + d_{pcv(L_n)^S} + d_{pco(L_n)_r} + d_{pcv(L_n)_r} \\ + d_w + \lambda * N + d_{mp(L_n)} + \epsilon(L) + Coord_{var}$$

## Hardware biases

- Stabilität?
- evtl. 1 parameter pro Signal/Station/Satellite/Tag

# Beobachtungsgleichung (PPP)



$$C_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(C_n)^S} + d_{del(C_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} + f * d_{ion} + d_{cco(C_n)^S} + d_{ccv(C_n)^S} + d_{cco(C_n)_r} + d_{ccv(C_n)_r} \\ + d_{mp(C)} + \epsilon(P) + Coord_{var}$$

$$L_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(L_n)^S} + d_{del(L_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} - f * d_{ion} + d_{pco(L_n)^S} + d_{pcv(L_n)^S} + d_{pco(L_n)_r} + d_{pcv(L_n)_r} \\ + d_w + \lambda * N + d_{mp(L_n)} + \epsilon(L) + Coord_{var}$$

## Orbitfehler

- verbleiben in Gleichung

# Beobachtungsgleichung (PPP)



$$C_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(C_n)^S} + d_{del(C_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} + f * d_{ion} + d_{cco(C_n)^S} + d_{ccv(C_n)^S} + d_{cco(C_n)_r} + d_{ccv(C_n)_r} \\ + d_{mp(C)} + \epsilon(P) + Coord_{var}$$

$$L_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(L_n)^S} + d_{del(L_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} - f * d_{ion} + d_{pco(L_n)^S} + d_{pcv(L_n)^S} + d_{pco(L_n)_r} + d_{pcv(L_n)_r} \\ + d_w + \lambda * N + d_{mp(L_n)} + \epsilon(L) + Coord_{var}$$

## Troposphäre

- Modelle (Trockener Anteil + Feuchter Anteil => Dezimeter/Zentimeter)
- Schätzen des Restfehlers (2 Stundenintervalle)

# Beobachtungsgleichung (PPP)



$$C_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(C_n)^S} + d_{del(C_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} + f * d_{ion} + d_{cco(C_n)^S} + d_{ccv(C_n)^S} + d_{cco(C_n)_r} + d_{ccv(C_n)_r} \\ + d_{mp(C)} + \epsilon(P) + Coord_{var}$$

$$L_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(L_n)^S} + d_{del(L_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} - f * d_{ion} + d_{pco(L_n)^S} + d_{pcv(L_n)^S} + d_{pco(L_n)_r} + d_{pcv(L_n)_r} \\ + d_w + \lambda * N + d_{mp(L_n)} + \epsilon(L) + Coord_{var}$$

## Ionosphäre

- Term 1. Ordnung eliminiert durch L3
- Modelle (Klobuchar, Meterbereich)
- evtl. in Zukunft geschätzt

# Beobachtungsgleichung (PPP)



$$C_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(C_n)^S} + d_{del(C_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} + f * d_{ion} + d_{cco(C_n)^S} + d_{ccv(C_n)^S} + d_{cco(C_n)_r} + d_{ccv(C_n)_r} \\ + d_{mp(C)} + \epsilon(P) + Coord_{var}$$

$$L_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(L_n)^S} + d_{del(L_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} - f * d_{ion} + d_{pco(L_n)^S} + d_{pcv(L_n)^S} + d_{pco(L_n)_r} + d_{pcv(L_n)_r} \\ + d_w + \lambda * N + d_{mp(L_n)} + \epsilon(L) + Coord_{var}$$

## Phasen/Codezentrumskorrekturen und Phasen/Codezentrumsvariationen

- Phase => Modelle (PCO + PCV)
- Code => wird bisher nicht berücksichtigt

# Beobachtungsgleichung (PPP)



$$C_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(C_n)^S} + d_{del(C_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} + f * d_{ion} + d_{cco(C_n)^S} + d_{ccv(C_n)^S} + d_{cco(C_n)_r} + d_{ccv(C_n)_r} \\ + d_{mp(C)} + \epsilon(P) + Coord_{var}$$

$$L_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(L_n)^S} + d_{del(L_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} - f * d_{ion} + d_{pco(L_n)^S} + d_{pcv(L_n)^S} + d_{pco(L_n)_r} + d_{pcv(L_n)_r} \\ + d_w + \lambda * N + d_{mp(L_n)} + \epsilon(L) + Coord_{var}$$

## Phase Wind-up

- Model

# Beobachtungsgleichung (PPP)



$$C_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(C_n)^S} + d_{del(C_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} + f * d_{ion} + d_{cco(C_n)^S} + d_{ccv(C_n)^S} + d_{cco(C_n)_r} + d_{ccv(C_n)_r} \\ + d_{mp(C)} + \epsilon(P) + Coord_{var}$$

$$L_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(L_n)^S} + d_{del(L_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} - f * d_{ion} + d_{pco(L_n)^S} + d_{pcv(L_n)^S} + d_{pco(L_n)_r} + d_{pcv(L_n)_r} \\ + d_w + \lambda * N + d_{mp(L_n)} + \epsilon(L) + Coord_{var}$$

## Phasenmehrdeutigkeit

- Schätzung

# Beobachtungsgleichung (PPP)



$$C_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(C_n)^S} + d_{del(C_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} + f * d_{ion} + d_{cco(C_n)^S} + d_{ccv(C_n)^S} + d_{cco(C_n)_r} + d_{ccv(C_n)_r} \\ + d_{mp(C)} + \epsilon(P) + Coord_{var}$$

$$L_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(L_n)^S} + d_{del(L_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} - f * d_{ion} + d_{pco(L_n)^S} + d_{pcv(L_n)^S} + d_{pco(L_n)_r} + d_{pcv(L_n)_r} \\ + d_w + \lambda * N + d_{mp(L_n)} + \epsilon(L) + Coord_{var}$$

## Mehrwegeeffekte

- Verbleibt in Gleichung



# Beobachtungsgleichung (PPP)



$$C_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(C_n)^S} + d_{del(C_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} + f * d_{ion} + d_{cco(C_n)^S} + d_{ccv(C_n)^S} + d_{cco(C_n)_r} + d_{ccv(C_n)_r} \\ + d_{mp(C)} + \epsilon(P) + Coord_{var}$$

$$L_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(L_n)^S} + d_{del(L_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} - f * d_{ion} + d_{pco(L_n)^S} + d_{pcv(L_n)^S} + d_{pco(L_n)_r} + d_{pcv(L_n)_r} \\ + d_w + \lambda * N + d_{mp(L_n)} + \epsilon(L) + Coord_{var}$$

## Messrauschen

- Verbleibt in Gleichung

# Beobachtungsgleichung (PPP)



$$C_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(C_n)^S} + d_{del(C_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} + f * d_{ion} + d_{cco(C_n)^S} + d_{ccv(C_n)^S} + d_{cco(C_n)_r} + d_{ccv(C_n)_r} \\ + d_{mp(C)} + \epsilon(P) + \mathit{Coord}_{var}$$

$$L_n = \rho_r^S + d_{rel} + c * (dt_r - dt^S + dt_{rel} + dt_{sac}) + d_{del(L_n)^S} + d_{del(L_n)_r} + d_{orb} + \\ f * d_{trop} - f * d_{ion} + d_{pco(L_n)^S} + d_{pcv(L_n)^S} + d_{pco(L_n)_r} + d_{pcv(L_n)_r} \\ + d_w + \lambda * N + d_{mp(L_n)} + \epsilon(L) + \mathit{Coord}_{var}$$

## Koordinatenvariation

- Modelle (Earth tides/Ocean Loading/Atmospheric loading/...)

# Die Zukunft der Navigationssysteme

## Heterogen GNSS und Signale auf verschiedenen Frequenzen

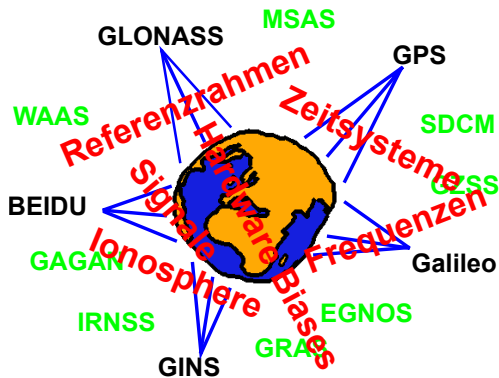


TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

Einführung

Aktuelle Untersuchungen am IPGD

Ausblick



## Gemeinsame Ausgleichung

# Die Zukunft der Navigationssysteme

## Heterogen GNSS und Signale auf verschiedenen Frequenzen

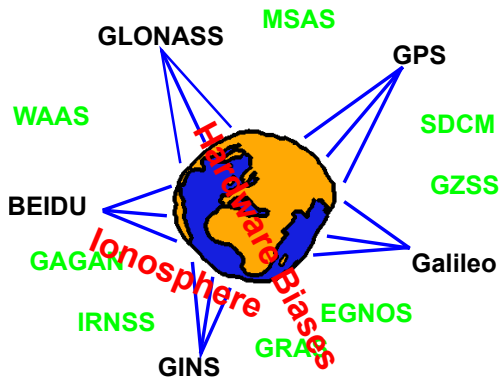


TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

Einführung

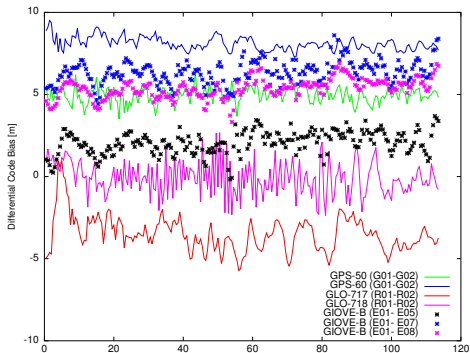
Aktuelle Untersuchungen am IPGD

Ausblick

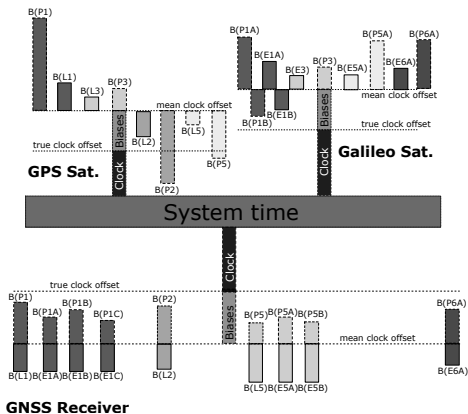


## Gemeinsame Ausgleichung

# Beispiele für verschiedene DCB



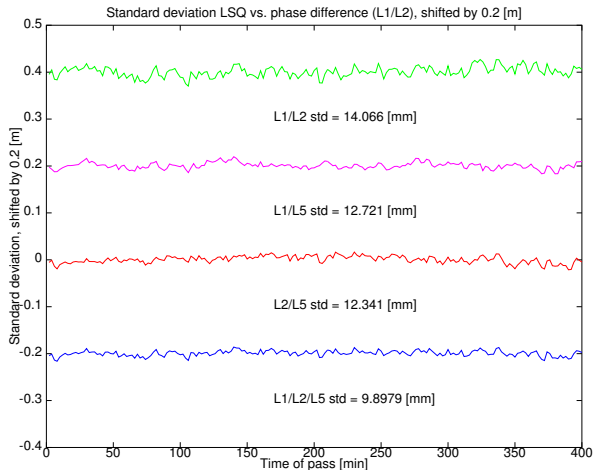
Die Graphen beinhalten sowohl Satelliten- als auch Stationsfehler (DARX)



**Auf Grund der Vielzahl an Signal-Kombinationen sind DCB nicht mehr zeitgemäß.  
Besser geeignet ist die Schätzung von einem Bias pro Signal/Frequenz**

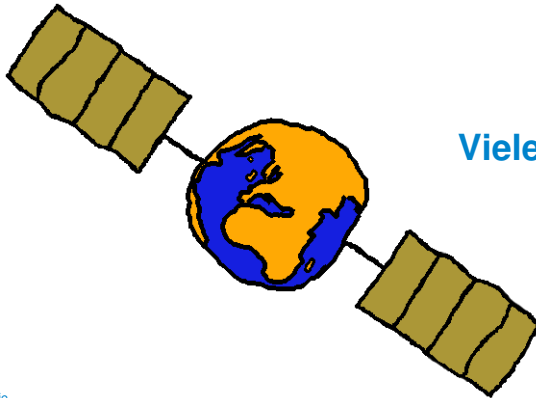
- Stabilität der verschiedenen Hardware Biase
- Möglichkeiten der Gruppierung von Hardware Biasen
- Schätzung von Hardware Biasen und Ionosphäre und bestimmten Vorbedingungen in einer Ausgleichung

# Erste Ergebnisse





Um alle Vorteile der neuen GNSS, Frequenzen und Modulationen nutzen zu können müssen die Fehler zwischen den einzelnen Signalen bekannt sein (UPD/UCD/Ionosphäre.)



**Erik Schönemann**  
Institut für Physikalische Geodäsie  
Technische Universität Darmstadt

[schoenemann@ipg.tu-darmstadt.de](mailto:schoenemann@ipg.tu-darmstadt.de)