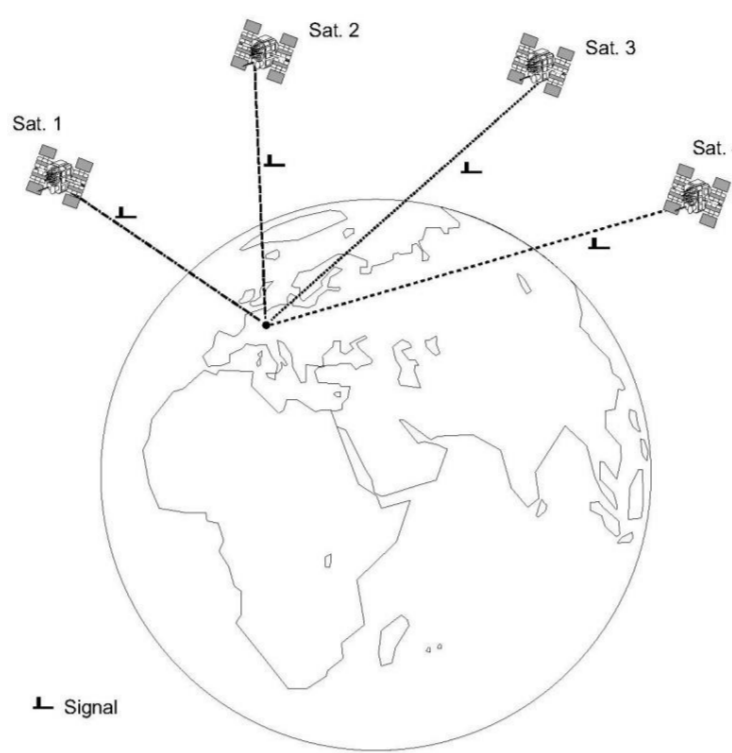


## GNSS-gestützte LowCost Multisensorsysteme zur mobilen Plattformnavigation und Objektgeoreferenzierung (Praxissemesterarbeit)

### „Online Precise Point Positioning (OPPP) im Server-Client-Konzept mit IGS-Produkten“

#### Absolute GNSS-Positionierung (PPP)

Die nicht-differentielle „absolute“ GNSS-Positionierung erfordert standardmäßig zur Berechnung der Position (ECEF-Koordinaten  $[X_{Empfänger} \ Y_{Empfänger} \ Z_{Empfänger}]$ ) und des Empfängeruhrfehlers  $\delta t_{Empfänger}$  mindestens vier Pseudorange. Je nach GNSS-Sensorik können zudem auch Phasen- und/oder Dopplermessungen als Beobachtungen mit in das mathematische Modell dieses sog. „Precise Point Positioning (PPP)“ mit einbezogen werden.



$$PSR_{gemessen} = \rho + (\delta t_{Empfänger} - \delta t_{Satellit}) \cdot c + \delta_{Iono} + \delta_{Tropo} + \delta_{Gezeiten} + \delta_{Restfehler}$$

mit

$$\rho = \sqrt{(X_{Satellit} - X_{Empfänger})^2 + (Y_{Satellit} - Y_{Empfänger})^2 + (Z_{Satellit} - Z_{Empfänger})^2}$$

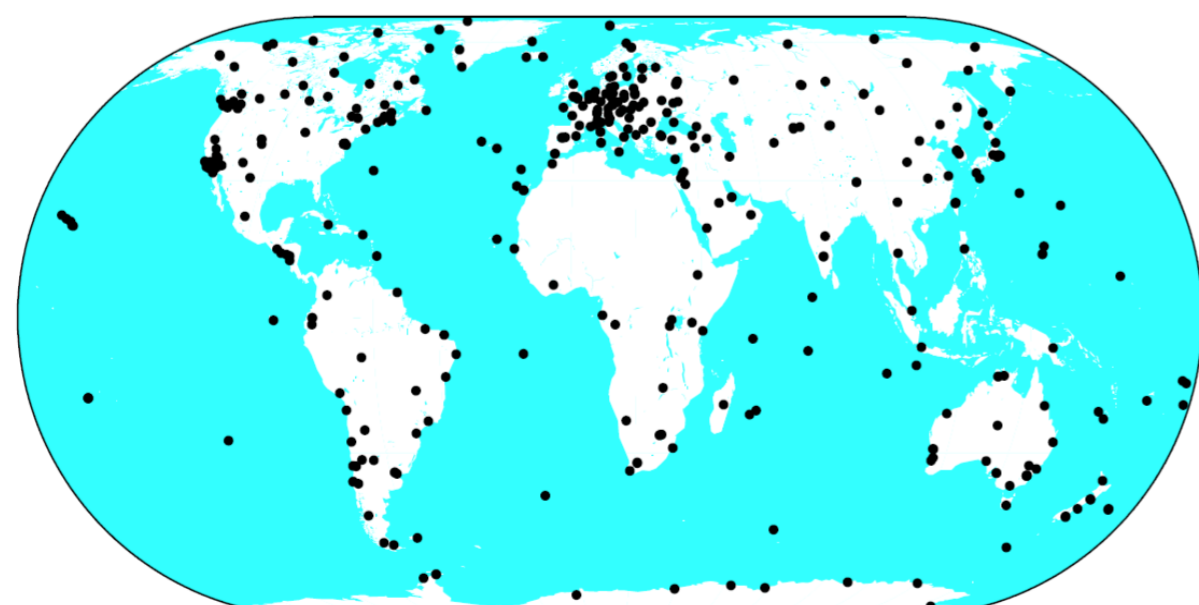
Die Fehlerkomponenten haben folgende Größenordnung

Fehlerbudget	mit Broadcast-Message	mit IGS Daten
Satellitenposition	1 -3 m	0,03 – 0.15 m
Satellitenuhrenfehler	1,5 m	0,03 – 0.9 m
Ionosphäre	3 -10 m	0,2 – 1,3 m
Troposphäre	0,7 m	0,05 -0,7 m
Erdgezeiten	0,6 m (Höhe)	0,6 m (Höhe)
Multipath	1,0 m	1,0 m
Antennenrauschen (Noise)	0,5 m	0,5 m

Standardmäßig wird mit LowCost-Sensorik und Broadcast-Information online eine absolute Positionierungsgenauigkeit von ca. 5 - 10 m erreicht. Ziel der Entwicklungen war ein verbessertes absolutes, also ein Precise-Point-Positioning (PPP), welches basierend auf Codemessungen mit Low-Cost-Sensorik und -Antennen in der ersten Entwicklungsphase eine absolute GNSS-Genauigkeit besser als 2 m Meter liefern sollte. Das entwickelte Real-Time-bzw. „Online“-Verfahren wird entsprechend - und auch zur Unterscheidung vom Nearonline- bzw. Postprocessing -PPP - kurz als „OPPP“ bezeichnet.

Um das Ausgangsfehlerbudget (siehe obige Tabelle) zu verbessern wurden beim entwickelten OPPP in einem Server-Client-Konzept – kostengünstig realisierbar mit GPRS und mobilem Internet - als einzige externe Datenkomponente die seitens des International GNSS Service (IGS) frei verfügbaren IGS-Produkte verwendet. Zum Einsatz kommen derzeit IGS Orbits, Troposphären und Ionosphärenmodelle. Die eingesetzten Predicted Orbits repräsentieren die Satellitenposition und Uhrfehler mit Genauigkeiten von derzeit 0,05 m bzw. 0,9 m. Die nachfolgende Graphik gibt einen Überblick über das weltweite Netz der IGS-Stationen, die zugleich auch das ITRF repräsentieren. Als Orbit IGS-Produkte stehen derzeit zur Verfügung:

- Final (nach 11-18 Tagen für einen Tag)
- Predicted (nach 17-41 Stunden für einen Tag)
- Ultra-Rapid (Vorhersage für 1-2 Tage; alle 6h)



Weltweite IGS Stationen

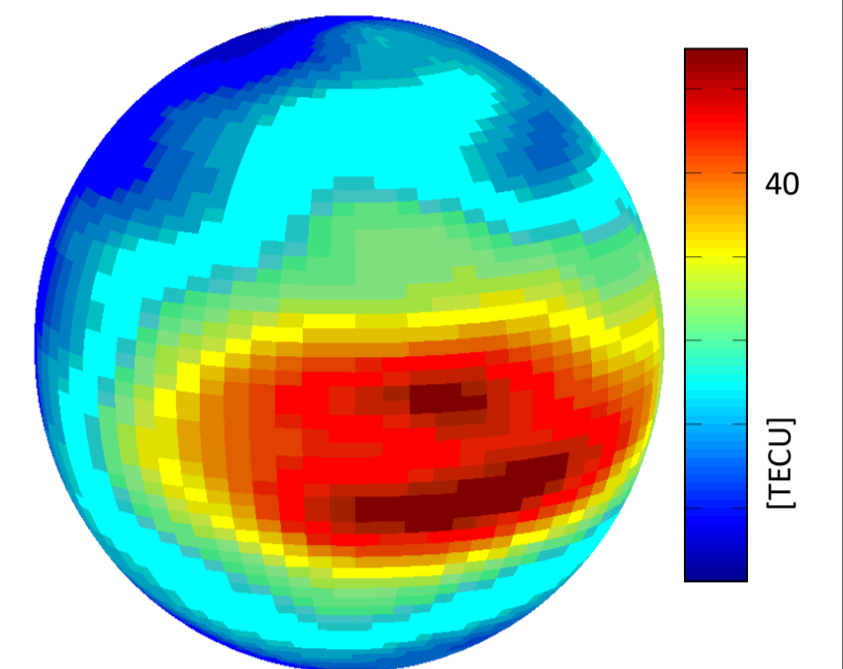
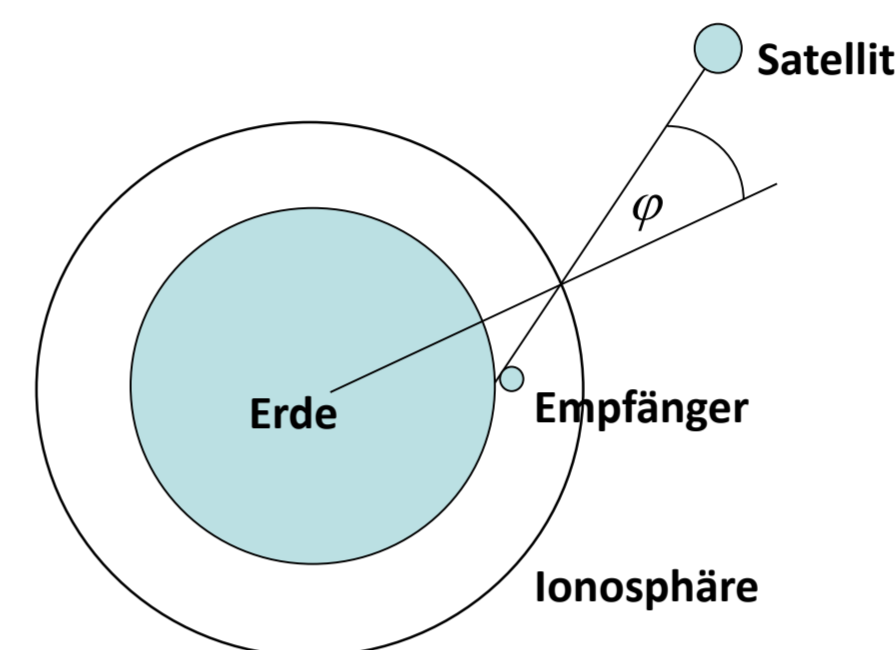
#### Korrektur der Orbit- und Satellitenuhrfehler

Die vom IGS im 15-Minutentakt bereitgestellten Satellitenpositionen (als ECEF-Koordinaten  $[X,Y,Z]$ ) und Satellitenuhrenkorrekturen ( $\mu$ -Sek.) können mittels Lagrange-Interpolation zum Zeitpunkt  $t_j$  kontinuierlich für das OPPP berechnet werden. Es gilt:

$$y(t) = \sum_{j=0}^m L_j(t) \cdot y(t_j) \quad \text{mit} \quad L_j(t) = \prod_{\substack{k=0 \\ k \neq j}}^m \frac{t - t_k}{t_j - t_k}$$

#### Korrektur der ionosphärischen Wegverzögerung

Die Ionosphärenmodellierung erfolgt im Standard des Single-Layer Modells. Der Winkel  $\phi$  am ionosphärischen Punkt lässt sich aus dem Zenitwinkel am Boden berechnen, der Vertical Total Electron Content (VTEC)-Wert wird aus der vom IGS bereitgestellten TEC Map bilinear interpoliert.



Ionosphärische TEC Map  
VTEC = Vertical total electron content  
Einheit:  $\left[ \frac{10^{16} \text{ Elektronen}}{\text{m}^2} \right]$

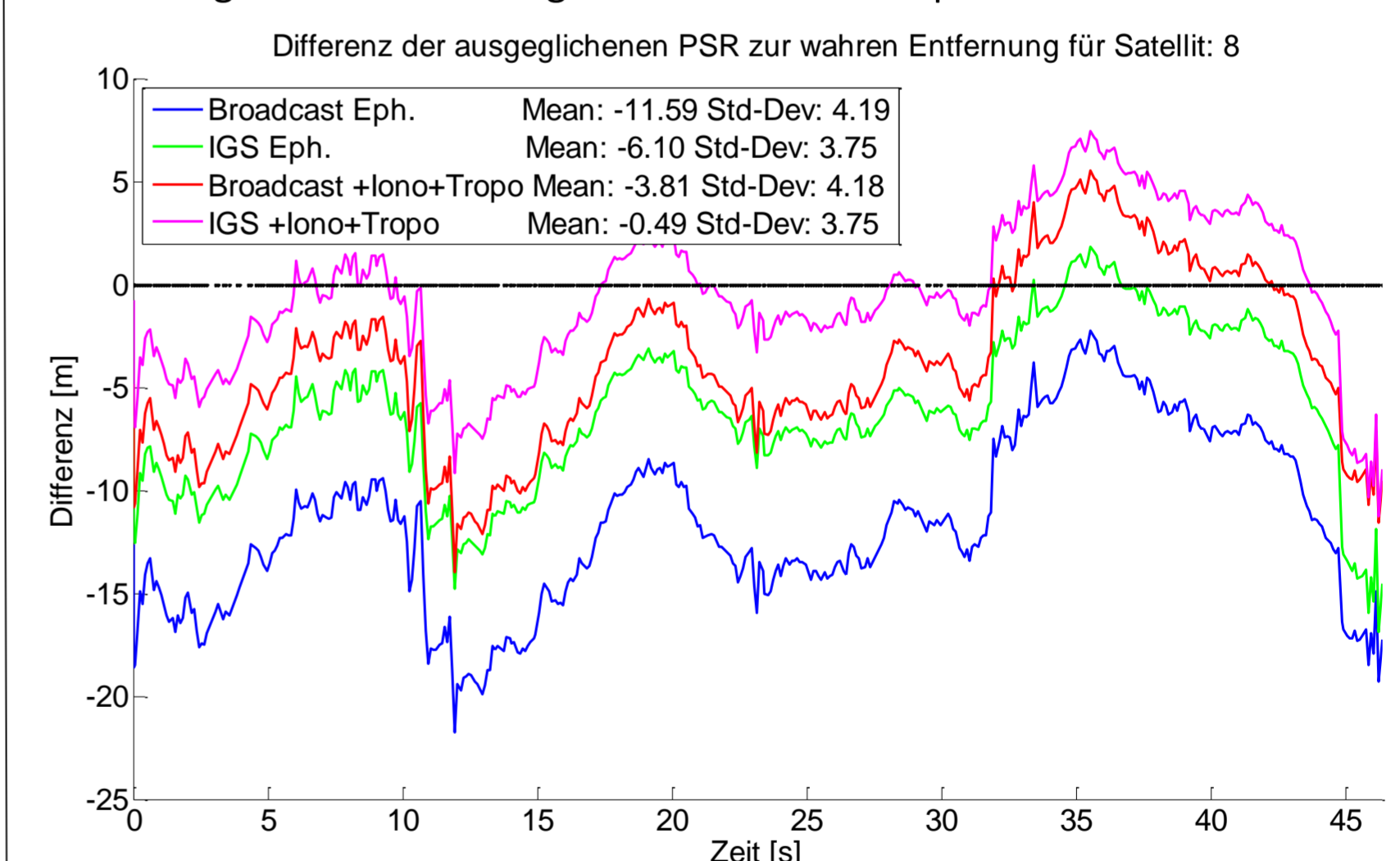
$$\Delta Iono [m] = \frac{1}{\cos \phi} \cdot \frac{40.3}{f^2} \cdot VTEC$$

#### Mathematische Modellbildung des OPPP

Das realisierte mathematische Modell des OPPP-Ausgleichsalgorithmus basiert, neben dem im Hintergrund z.B. im Tageszyklus erfolgenden Download der o.g. IGS-Daten, auf den Messungen (Code-, Phasen- und Doppler) eines Low-Cost GPS-Systems. Der entwickelte OPPP-Algorithmus setzt prinzipiell keine Filterung aus Bewegung voraus und basiert Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsteigernd auf eine robuste M-Schätzung. Die nachfolgende Tab. zeigt die mittlere Lageabweichung aus der Auswertung von 30480 OPPP-Positionierungen mit unterschiedlichen Orbitdaten.

Broadcast Ephemeriden	IGS ultra-rapid	IGS final
2,69 m	2,16 m	1,97 m

Auswirkungen der Pseudorange-Korrekturen am Bsp.:



Die aktuellen Fortentwicklungen des OPPP-Algorithmus zielen auf den Einsatz mehrerer GNSS und Verbesserungen in der Modellierung der Phasenmessungskomponenten (z.B. Cycleslip-Elimination) sowie externer Komponenten (Erdgezeiten, Uhrfehler etc.) ab. Im Maße von Verbesserungen der externen Datenquellen bzw. SSR-Modellierung stehen die Submeter-, Dezimeter- und die Zentimeterlösung im Fokus der Weiterentwicklungen der OPPP-Algorithmen.

#### Quellen:

- [1] GPS-Compendium - Essentials of Satellite Navigation, u-blox AG  
[http://www.u-blox.com/images/downloads/Product\\_Docs/GPS\\_Compndium%28GPS-X-02007%29.pdf](http://www.u-blox.com/images/downloads/Product_Docs/GPS_Compndium%28GPS-X-02007%29.pdf)  
[2] Homepage des International GNSS Service  
<http://igsb.jpl.nasa.gov/>

Erstellt im Rahmen eines Praxissemesters in Kooperation mit der Robert Bosch GmbH von Studenten der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft.

Jürgen Pilz und Jan Zwiener



**Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft**  
Fakultät für Geomatik  
Prof. Dr.-Ing. Reiner Jäger (Betreuer)  
Postfach 2440, 76012 Karlsruhe. Email: reiner.jaeger@web.de



**Robert Bosch GmbH**  
CR/AEG  
Dr. Peter Biber (Betreuer)  
Robert-Bosch-Strasse 2, 71701 Schwieberdingen