

Agenda – eine kurze Zeitreise

- Anfänge EPOSA / kurzer Rückblick
- Entwicklung GPS -> GNSS
- Felder GNSS-Zusammenarbeit 2009-2024
(einige Beispiele)
- Herausforderungen der nächsten Jahre

Das Referenznetz SATVB und Manfred Bern

Aufbau 1998

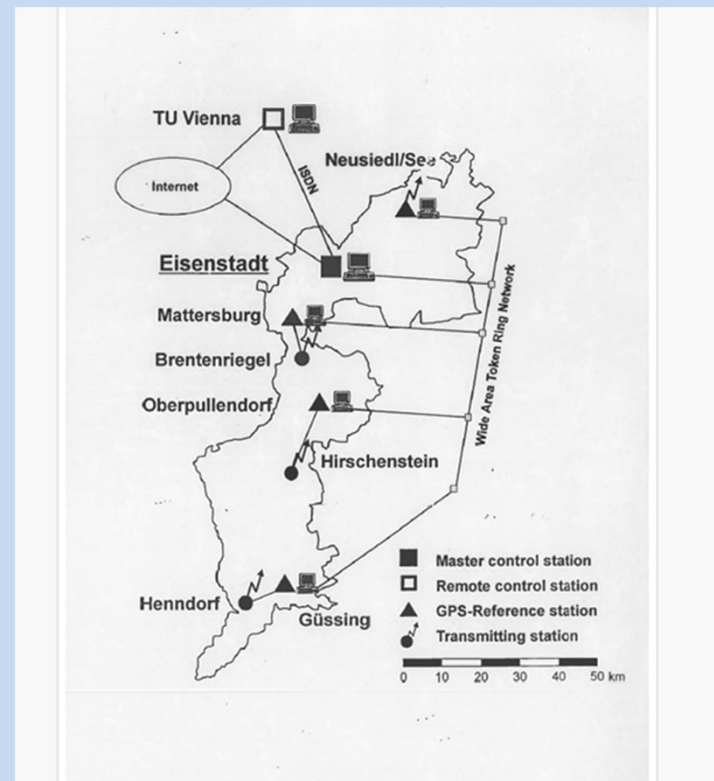
SATVB - Realisierung eines multifunktionalen GPS – Referenzstationsnetzes im Burgenland

Robert Weber, Helmut Titz

Abteilung Theoretische Geodäsie
TU-Wien

Vortrag im Rahmen
der Österreichischen Gesellschaft für
Vermessung und Geoinformation

Wien
6. Mai 1998



4m Funk, sehr große Antennen + Helmuth Titz +BEV

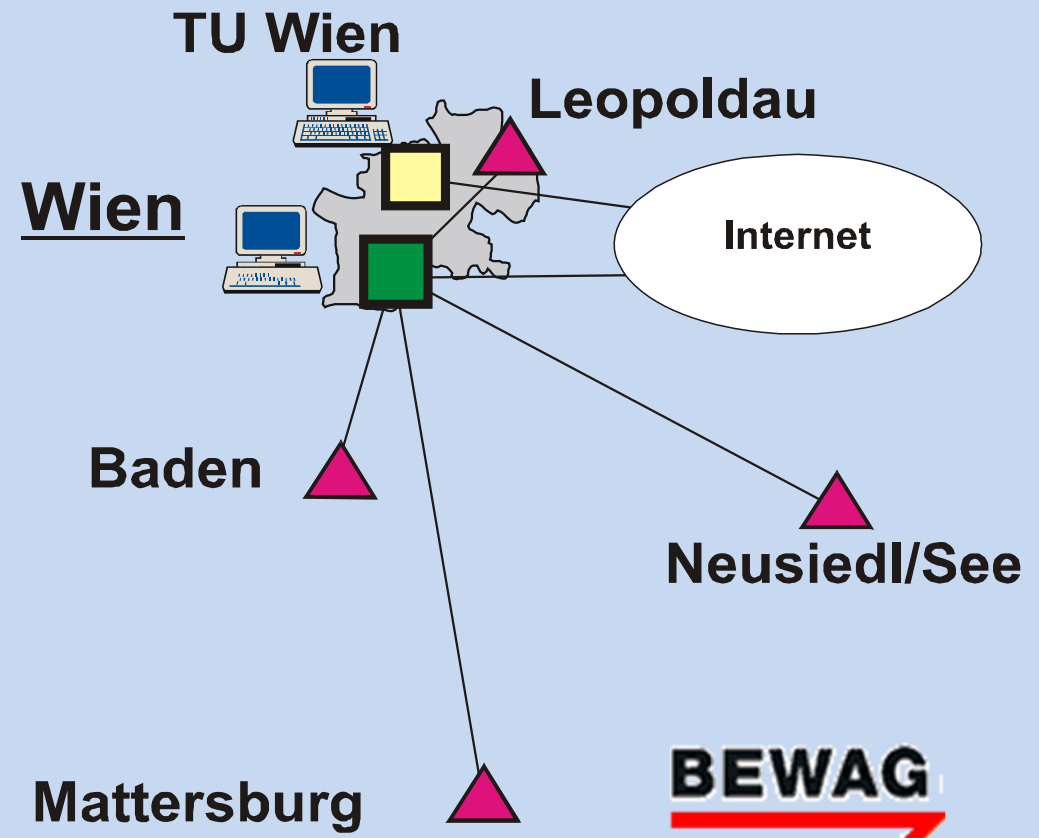


Wienstrom Echtzeitpositionierung WEP (ab 2001)



WEP

- Zentraler Aufbau
- GSM, GPRS, UMTS
- FKP's + VRS



- Erster Kooperationsvertrag ÖBB Wienstrom 24.01.2005
Zentrale bei WS, Bereich NÖ und Wien
- Zweiter Kooperationsvertrag 19.07.2005
Bewag kommt in Kooperation dazu
- Dritter Kooperationsvertrag 13.02.2009
Bundesweite Vermarktung → Dachmarke von TEPOS/WEP/SATVB
Zwei unabhängige Zentralen → Redundanz

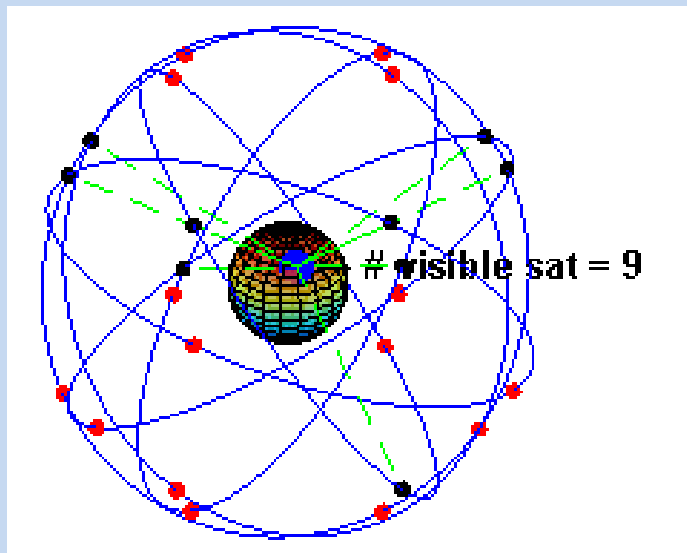


Geodätentag 2009 Schladming ; Gründung Marke EPOSA

Erste gemeinsame Präsentation mit ÖBB: Weber, R., & Stättner, M. (2009). TEPOS- Das Echtzeitpositionierungs- der ÖBB Infrastruktur BauAG / Techn. Grundlagen und Lagerung. Tagung Bahnprojekt 2009, Bern, Schweiz, Non-EU.

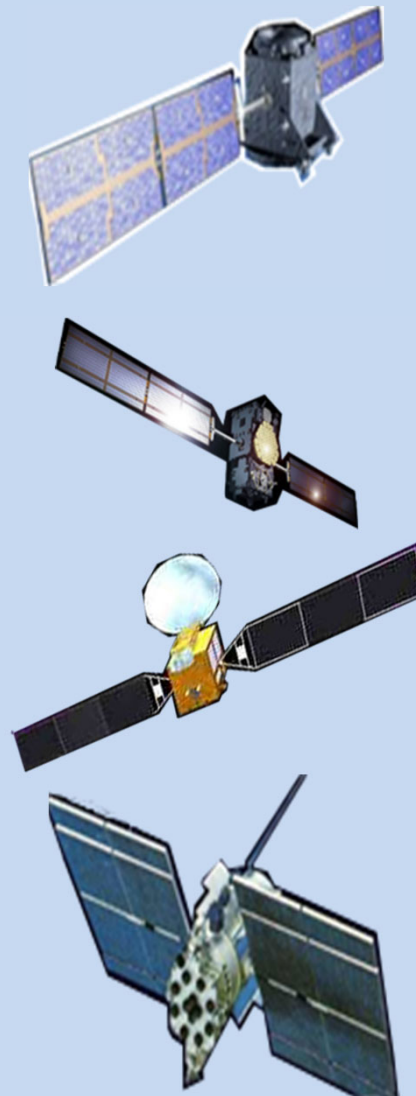
GPS 199x -> GNSS 201x

ca. 15 GPS Satelliten



**C/A Code/ P-Code ->
mehr als 10 ,freie' Signale**

100 GNSS-Satelliten



GPS

Galileo

Beidou

GLONASS

GPS 199x -> GNSS 201x

(Verfügbarkeit -> Genauigkeit -> nahe RT)

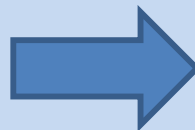
Equipment : 15 kg -> < 1kg
(oder weniger)



Messdauer 2h -> wenige
Sekunden (RTK,...)

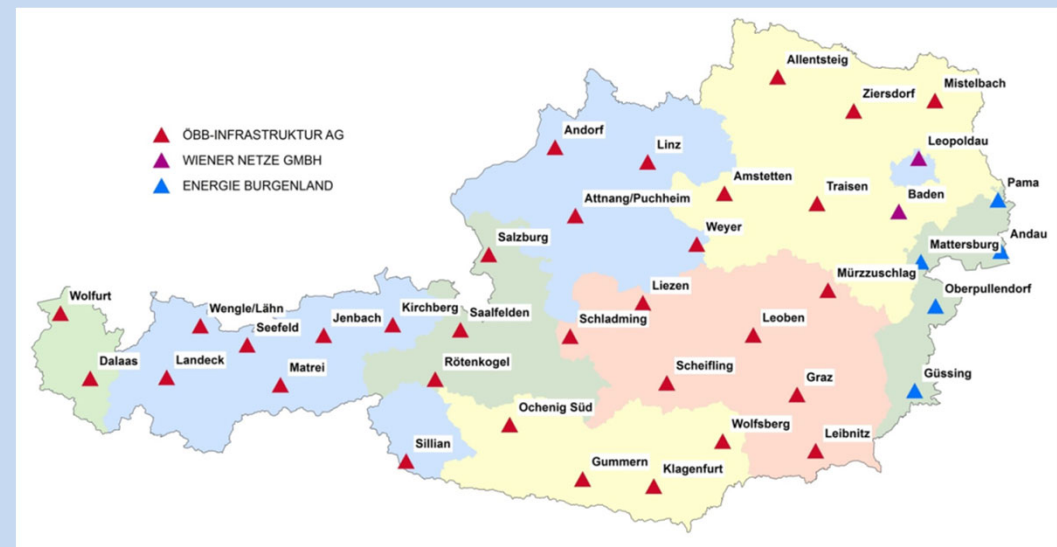
Einzelnsensor ->
Sensorfusion/integriert

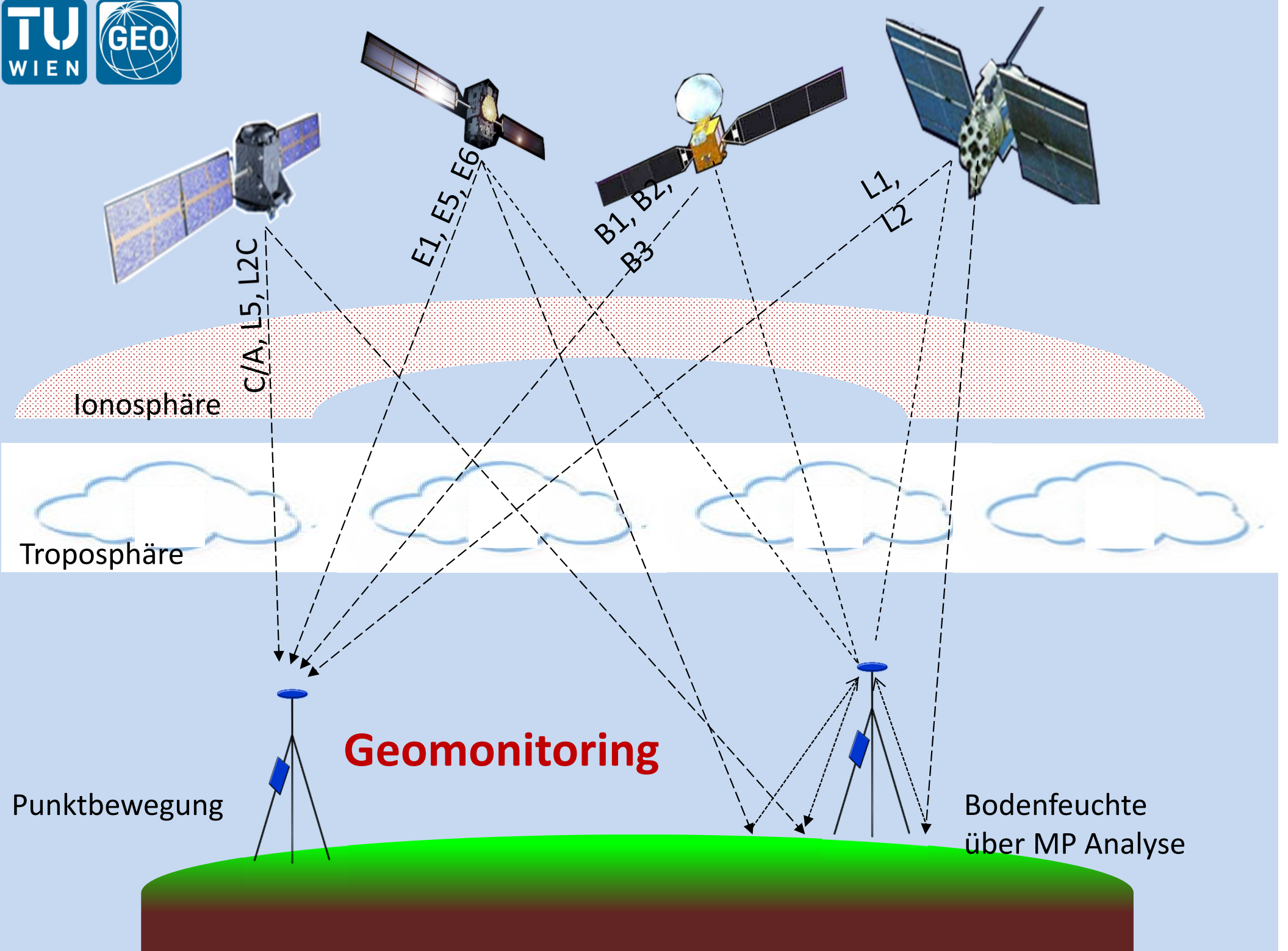
Einzelne Basislinien ->
aktive Referenznetze



Daten-Postprocessing ->
Real Time Referenzrahmen-
transformation -> RTCM 3.1/RT

Pure Koordinatenbestimmung
-> **Geomonitoring**





C/A, L5, L2C

E1, E5, E6

B1, B2, B3

L1, L2

Ionosphäre

Troposphäre

Geomonitoring

Punktbewegung

Bodenfeuchte
über MP Analyse

GPS 201x -> GNSS 202x

Differenzverfahren->/+ präz. Einzelpunktbestimmung

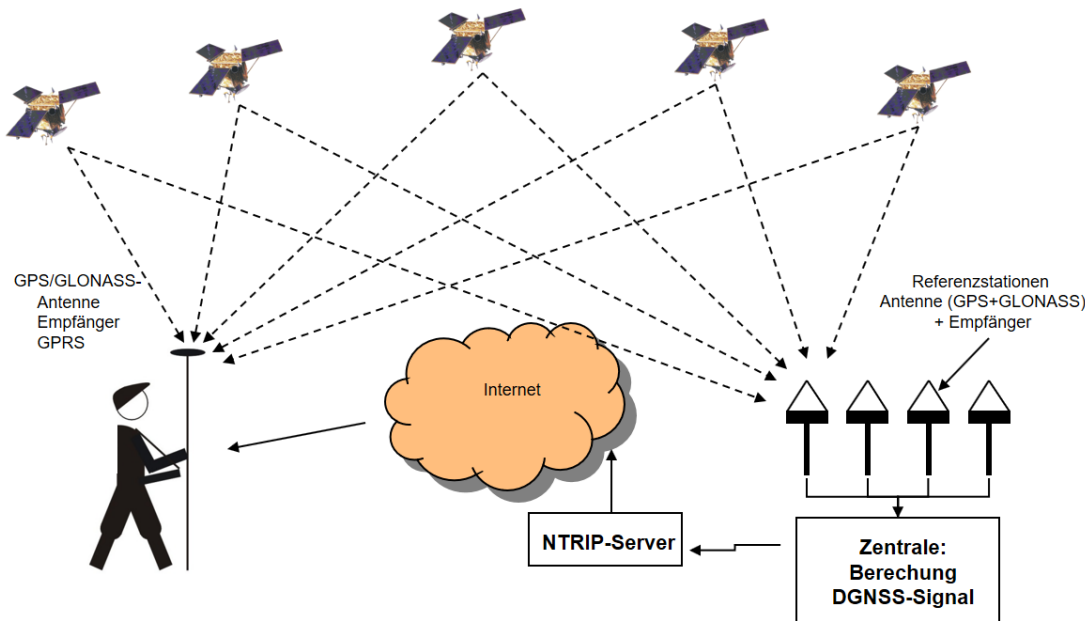
SSR – State Space Representation

Referenznetze

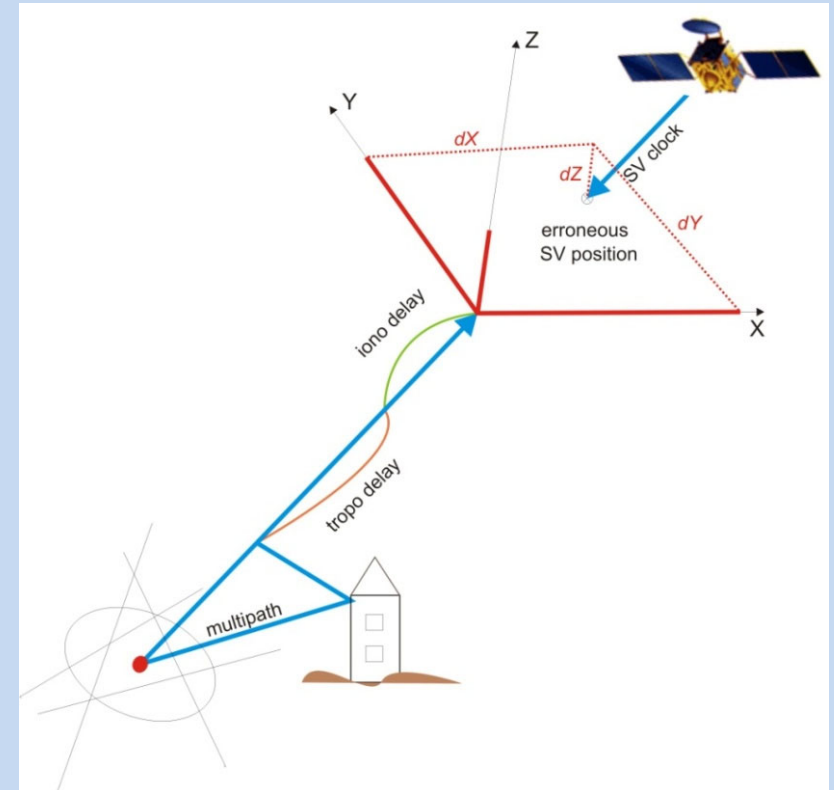
->/+

PPP

GNSS Echtzeitpositionierungsdienste



NTRIP = Networked Transport of RTCM via Internet Protocol



$$P_{r,i}^s = \rho_r^s + \Delta\rho_{r,Ion,i}^s + \Delta\rho_{r,Trop}^s + c\Delta t_r - c\Delta t^s + v_{r,i}^s$$

$$L_{r,i}^s = \rho_r^s - \Delta\rho_{r,Ion,i}^s + \Delta\rho_{r,Trop}^s + c\Delta t_r - c\Delta t^s + \lambda_i \cdot (N_{r,i}^s + B_{R,i}^s) + \epsilon_{r,i}^s$$

Zusammenarbeit EPOSA / TUW(HG)

Zusammenarbeit in verschiedenen Bereichen und Anwendungsfeldern-> einige Beispiele:

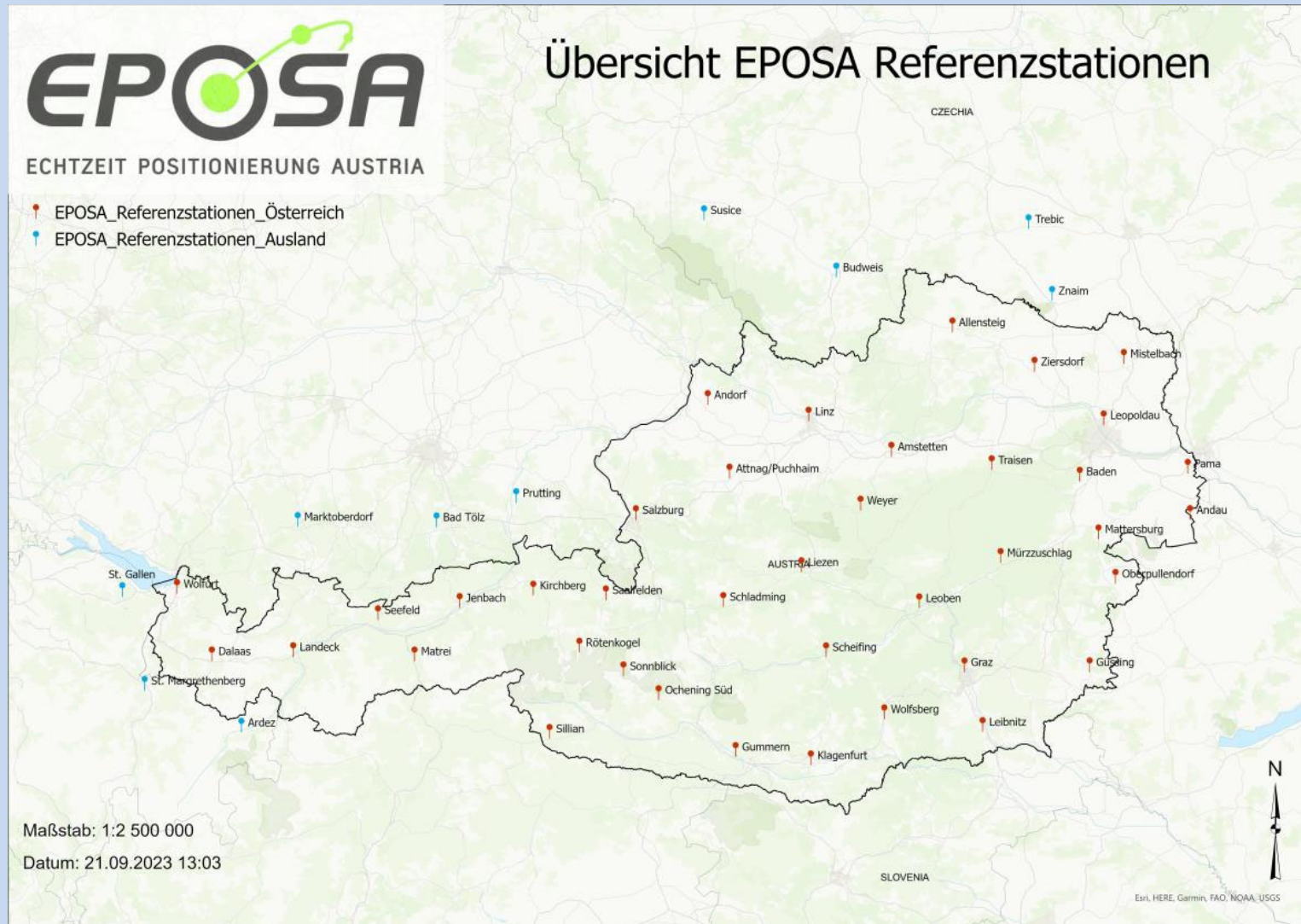
**Referenzrahmen, Koordinatenstabilität,
Koordinatentransformationen, RTCM-Korrekturraster**

(Real-Time) PPP, Smartphone - PPP

Atmosphärenmonitoring

Galileo Services

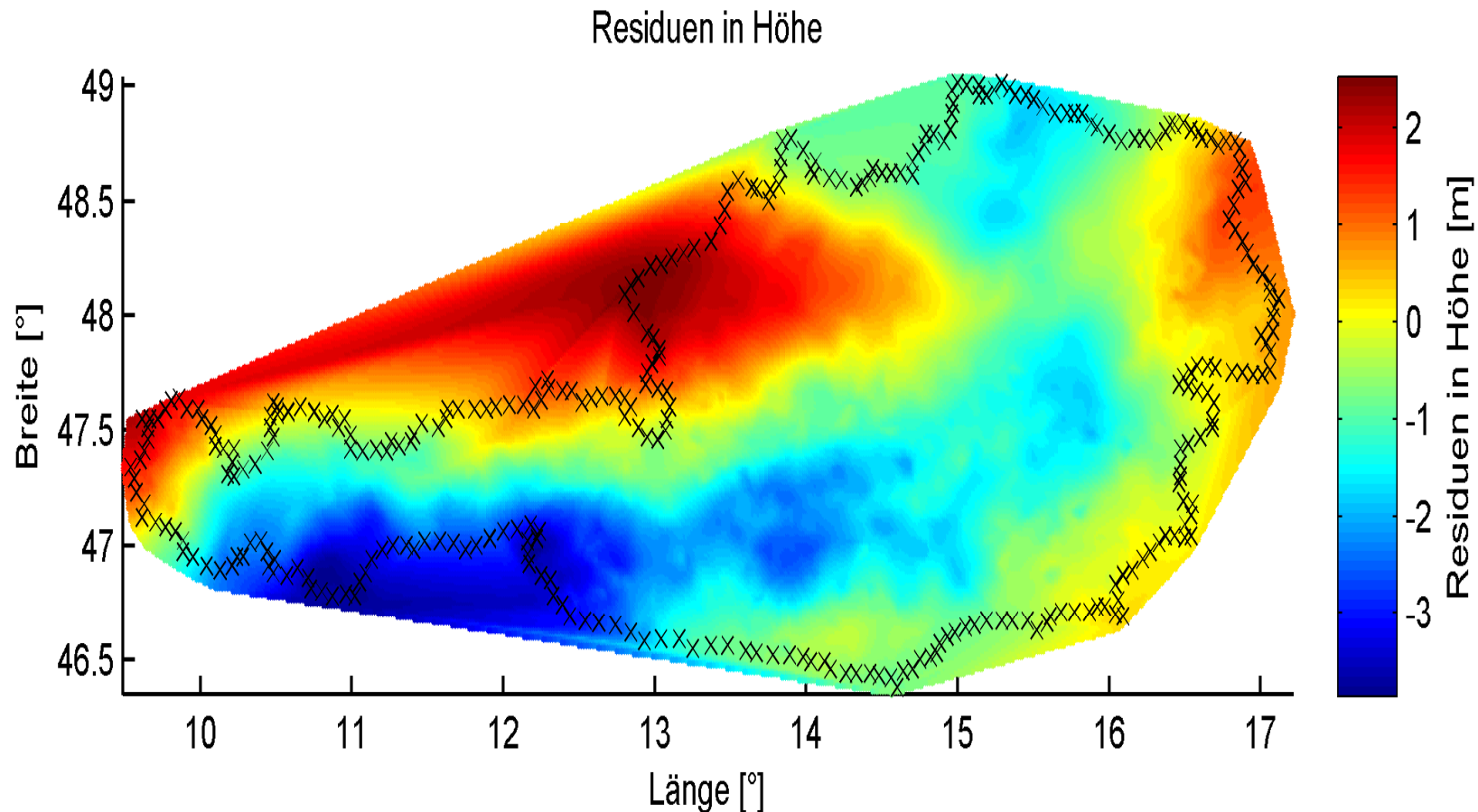
EPOSA Koordinaten- Referenzrahmen



Entwicklung EPOSA Koordinaten- Referenzrahmen – heute: ITRF2020, Ep. 2015.0

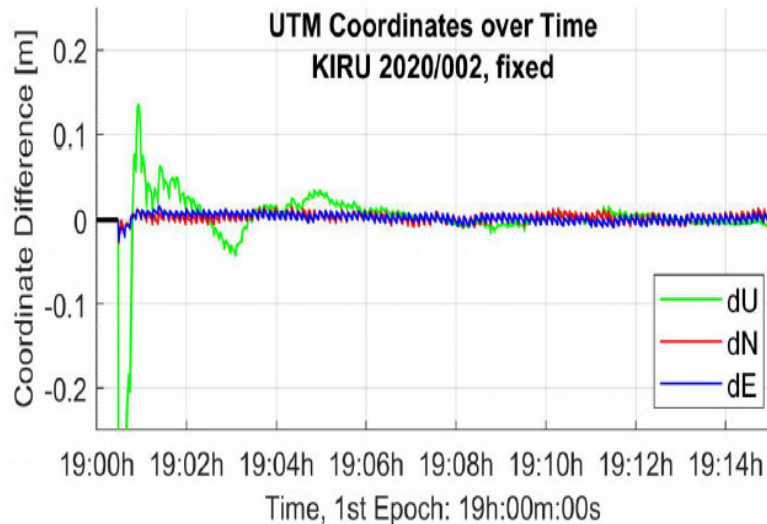
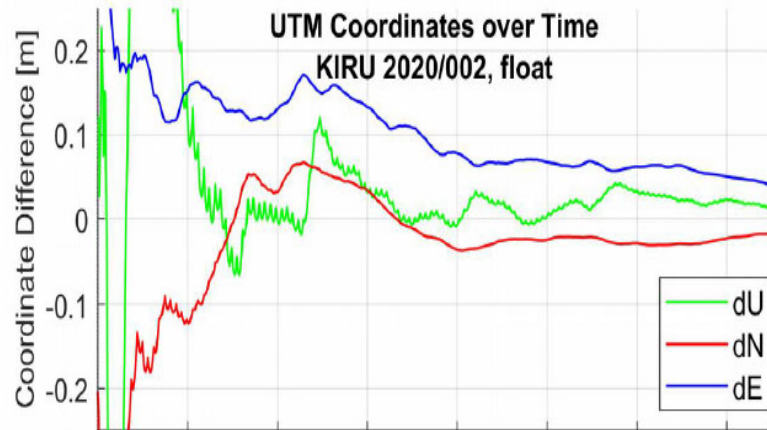
Supportdatenströme für ETRS89 und MGI

Korrekturraster via RTCM 3.x (ITRF -> MGI)



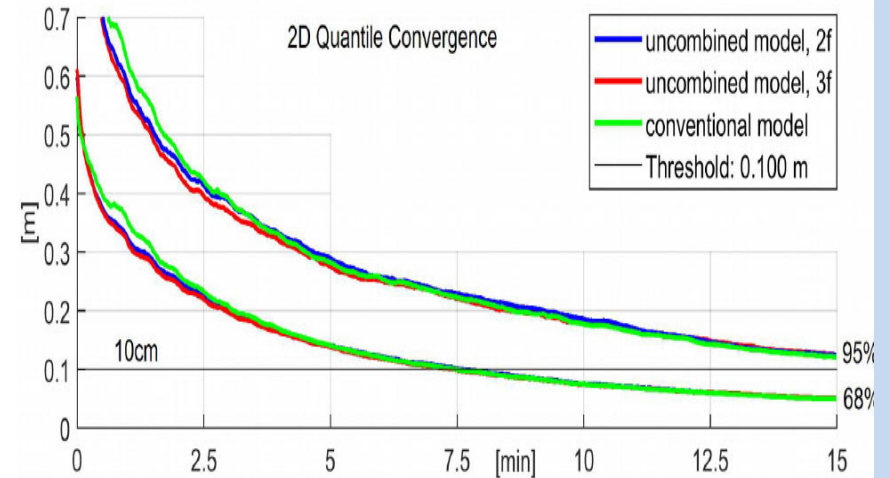
Entspricht genähert den **negativen Geoidundulationen**.
Residuen bezogen auf Referenzrahmen und mittleren
Transformationsparametersatz.

PPP Positionierung und Koordinatenkonvergenz mit ‚high-quality‘ GNSS Messdaten



Ambiguity
Float Lösung

Ambiguity
Fixed Lösung
(reduziert
Konvergenz
Zeit)



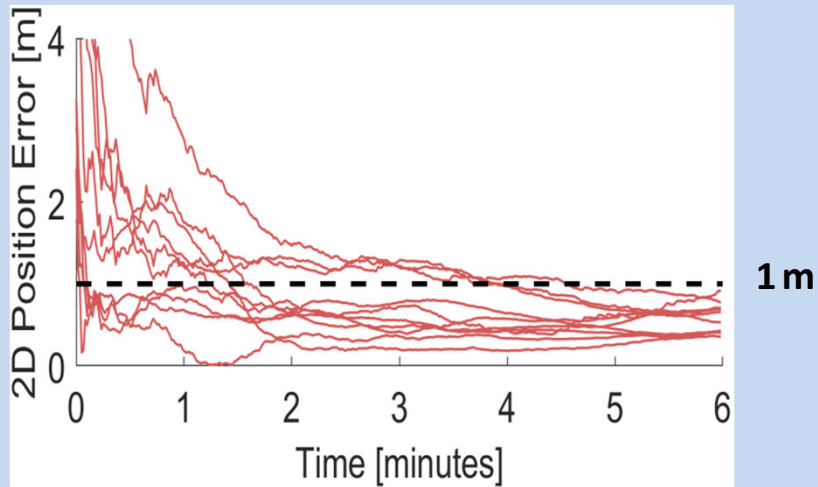
All convergence periods of the test case

2D –Konvergenzperioden
68%, 95%;
Verschiedene
Prozessierungsmodelle ->
Ionosphärenmodelle

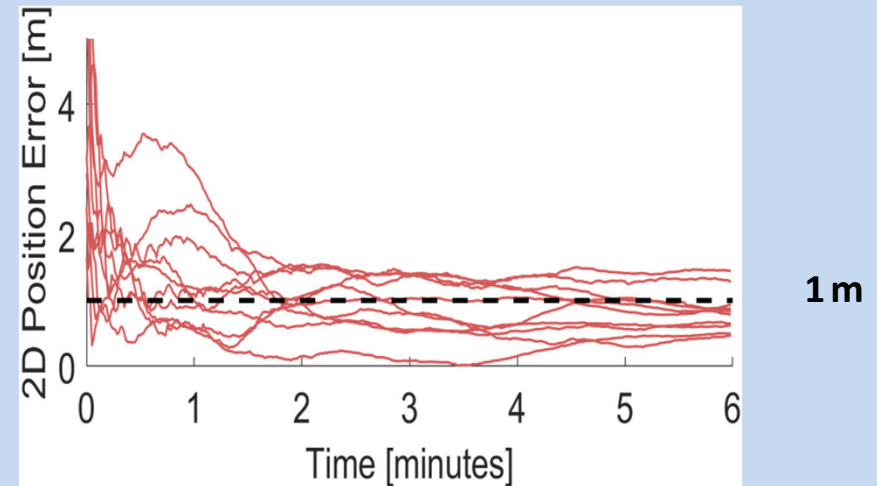
Quelle: F. Wareyka-Glaner

Smartphone PPP Koordinatenlösungen (PPP Float; CNES / HAS)

Google Pixel 7 (CNES)



Google Pixel 7 (HAS)

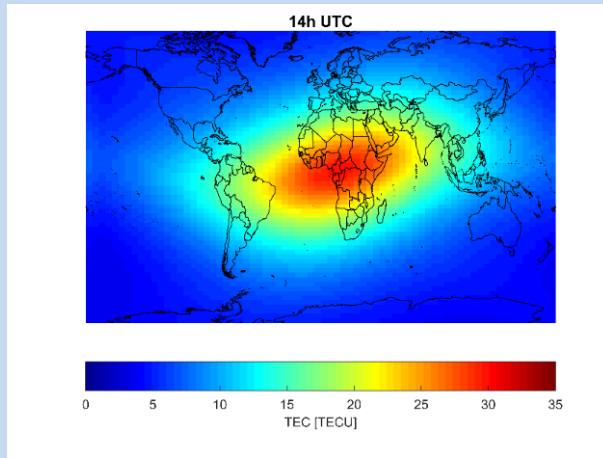


Smartphone	Median 2D error [cm]	Mean Convergence time 2D [min]	Mean 3D position error after 6 minutes [cm]	Converged [%]
Pixel 7 (CNES)	66.5	1.7	108.8	100
Pixel 7 (HAS)	99.9	2.3	261.2	80

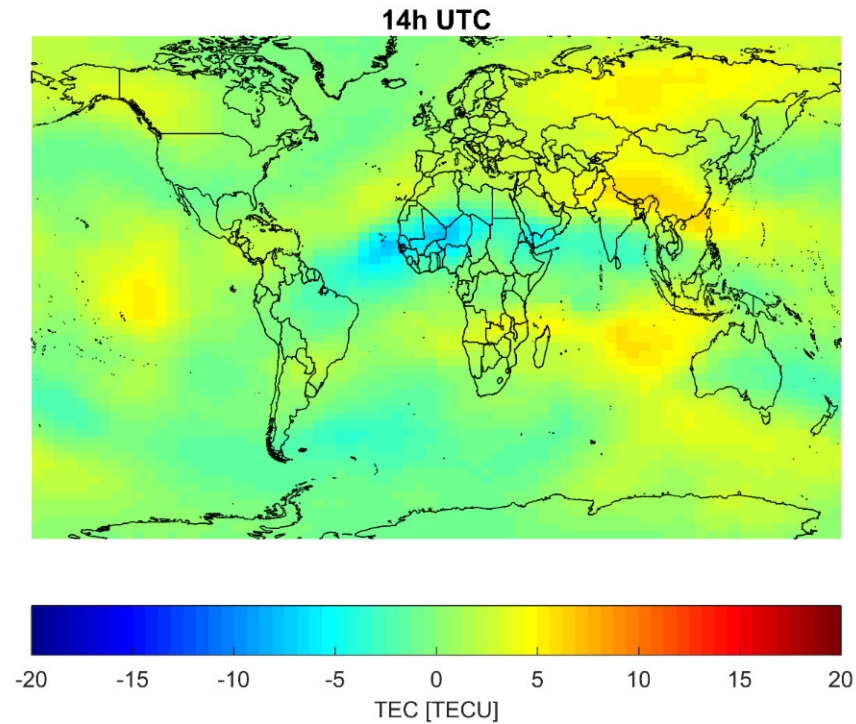
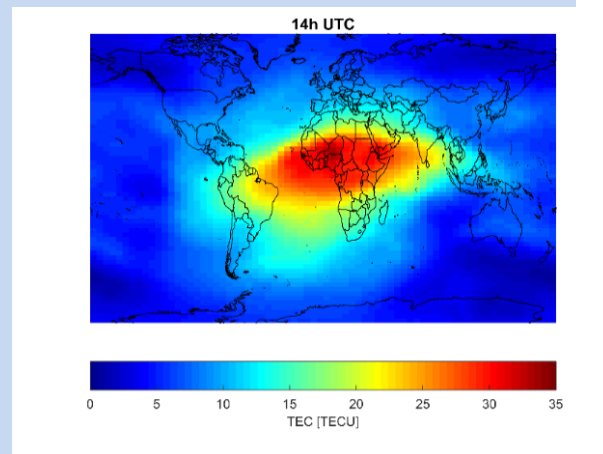
Ionosphärenmodellierung für Einfrequenznutzer und PPP Applikationen (Beispiel GIOMO Modell)

VTEC -Maps

GIOMO



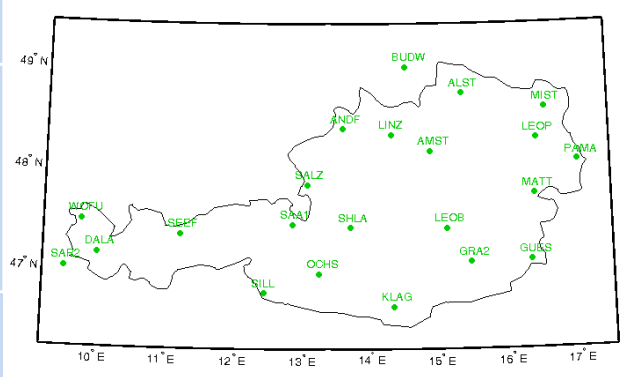
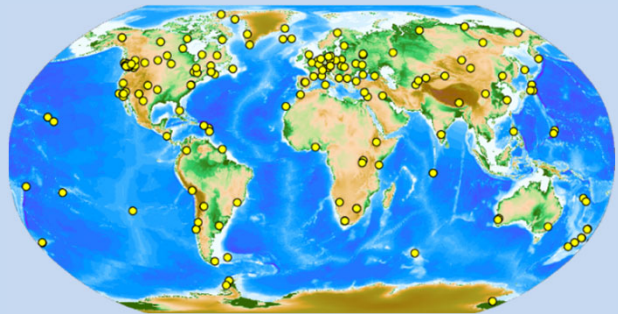
IGS



Differenz (TEC –Units)

Kontinentales und regionales Ionosphärenmodell (für Nutzer in AT, GIMs verfügbar über EPOSA)

<h3>Giommo Model</h3>	<p>Berechnung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Berechnung der geometriefreien LC • Ausgleich zur Bestimmung der 5 Parameter (Absolutwert und Koordinaten des Ionosphären-Maximums, q_{lat}, q_{lon}) 	<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Globales Modell • leicht zu präzisieren z.B. für den kommenden Tag
<h3>Regiomontan Model</h3>	<p>Berechnung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Approximation der Thin Shell mittels Taylor-Polynom • Ausgleich zur Bestimmung von $VTEC_0$ und den 1. und 2. Ableitungen 	<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regionales Modell • Geometriefreie LC der Phasendaten • Korrigiert um Signalbiases



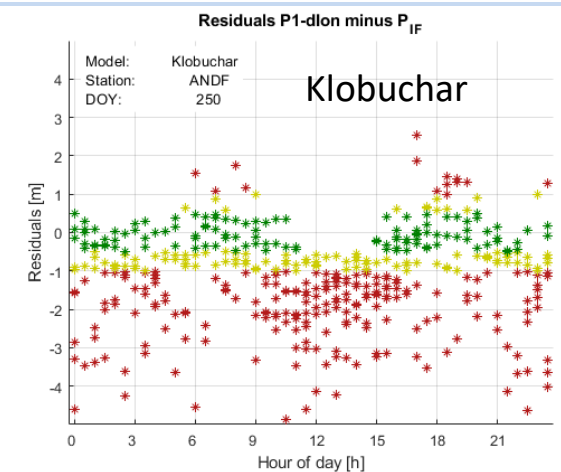
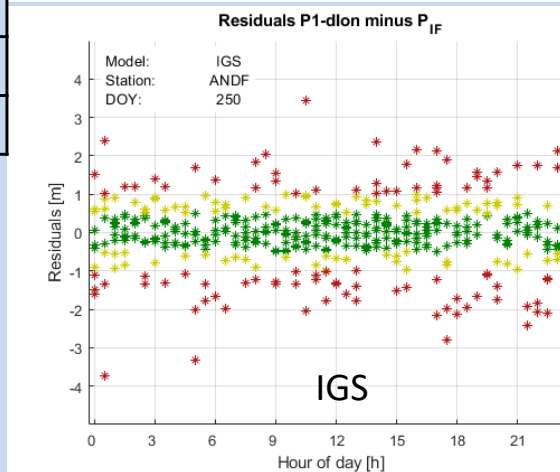
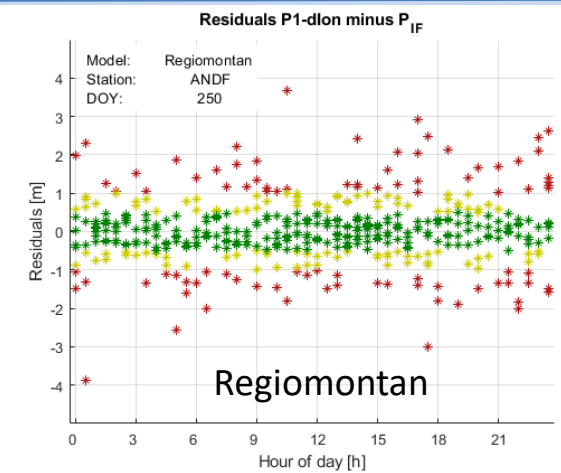
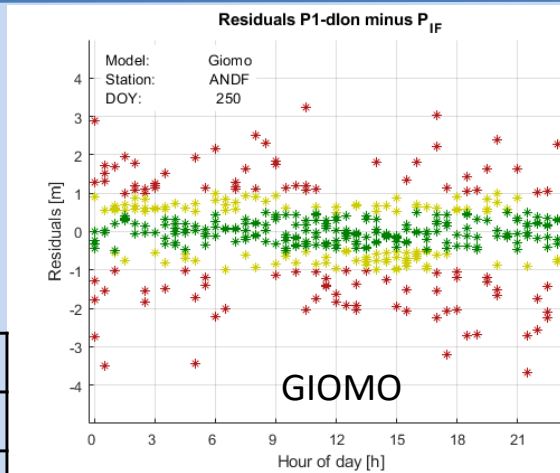
Beide Modelle nutzen EPOSA Referenzstationsdaten;
Ionosphärenmodelle für APPP-PPP Lösung verwendet

GIOMO vs. Regiomontan vs. Klobuchar vs. IGS

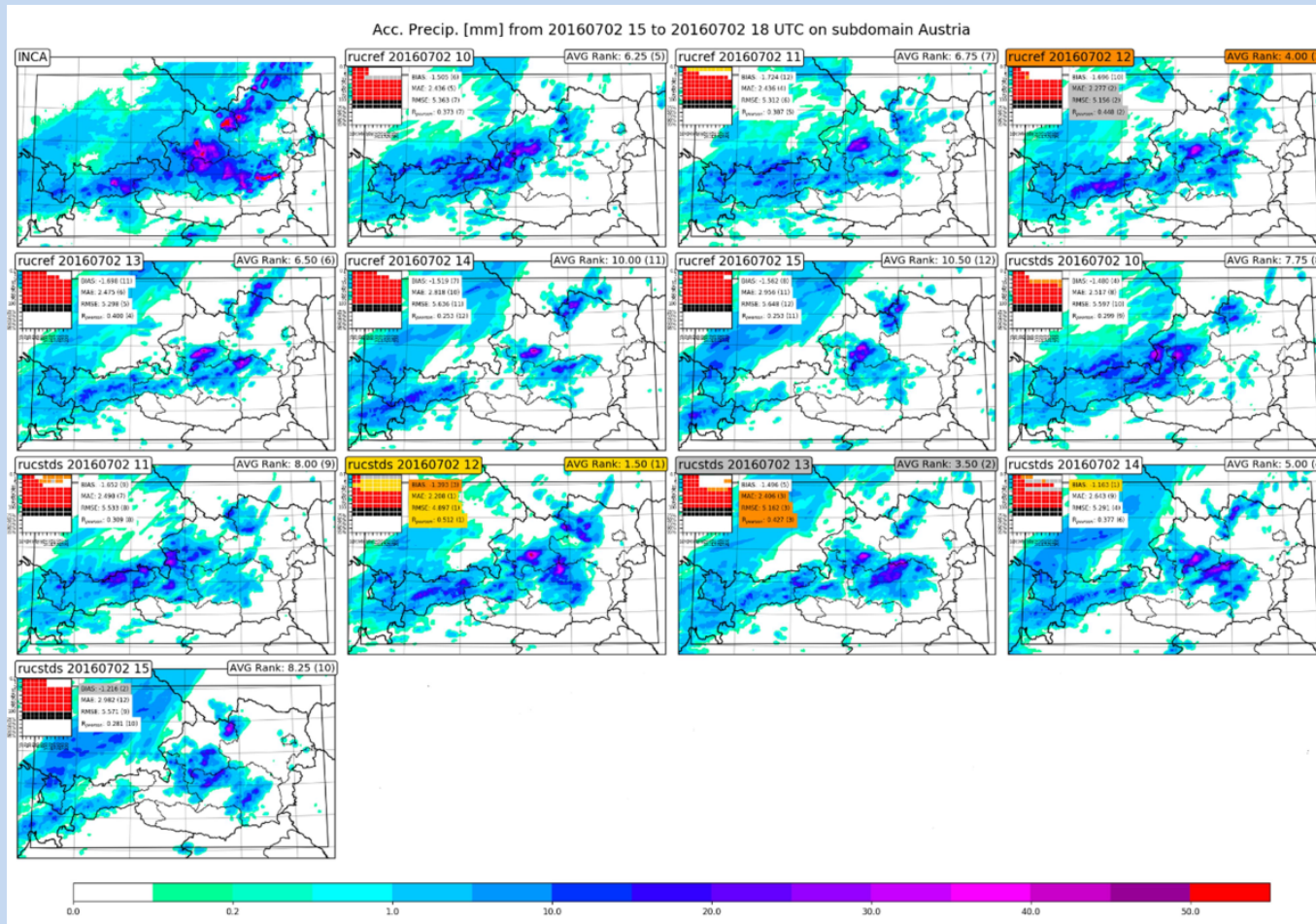
Mit verschiedenen Ionosphärenmodellen
korrigierte L1 Pseudorange

Referenz: Ionosphärenfreie Linearkombination

Statistik			
Residuen	Giomo	Regio	Klobu
< 0.5m	48.3%	56.2%	26.9%
< 1.0m	75.5%	80.5%	50.8%
< 1.5m	87.7%	90.4%	67.6%



GNSS - Troposphärische Signalverzögerungen



Akkumulierter Niederschlag, 2.Juli.2016 15-18 UTC , INCA
Differenz Referenzvorhersagen (rucref) versus inkludierte GNSS Delays (rucstd)

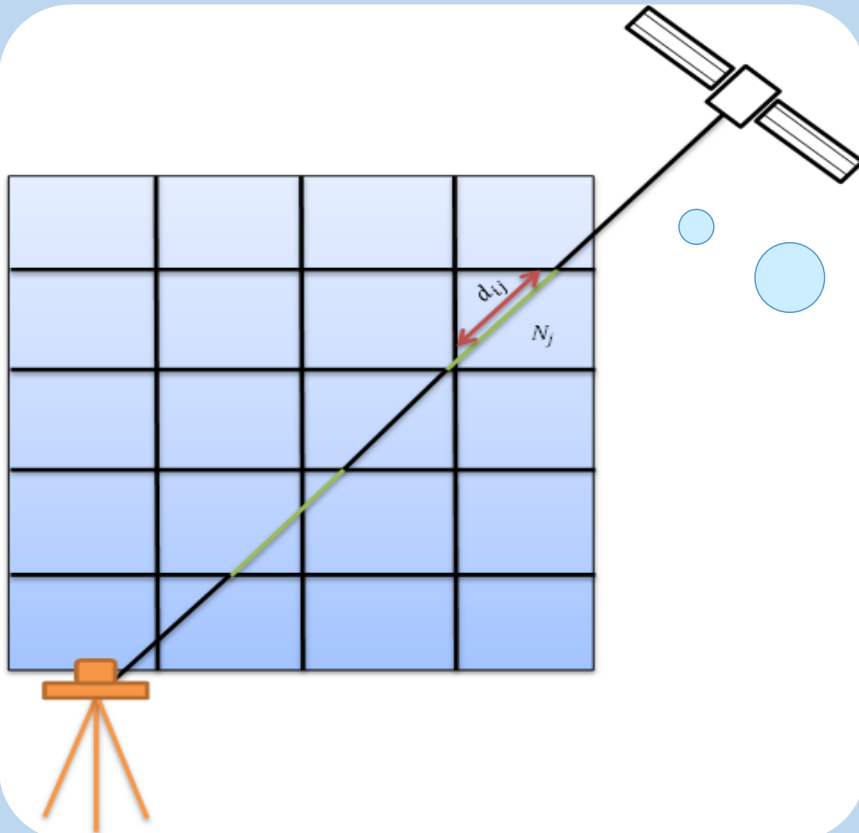
‘Second, the objective verification by different scores shows that the forecasts with assimilated STD observations perform generally better’

Tomographie Troposphäre

$$SWD_i = 10^{-6} \cdot \sum_{j=1}^m N_{wj} \cdot d_{ij} \quad (1)$$

$$A = \begin{bmatrix} d_{11} & 0 & 0 & 0 & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & 0 & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & 0 & d_{m4} & \cdots & d_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$A_{ij} = \begin{cases} d_{ij} & \text{if ray } i \text{ cross voxel } j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

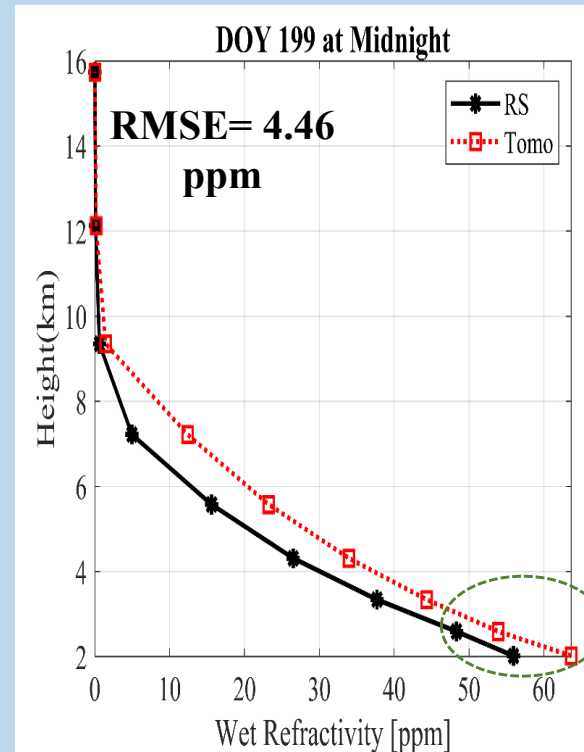
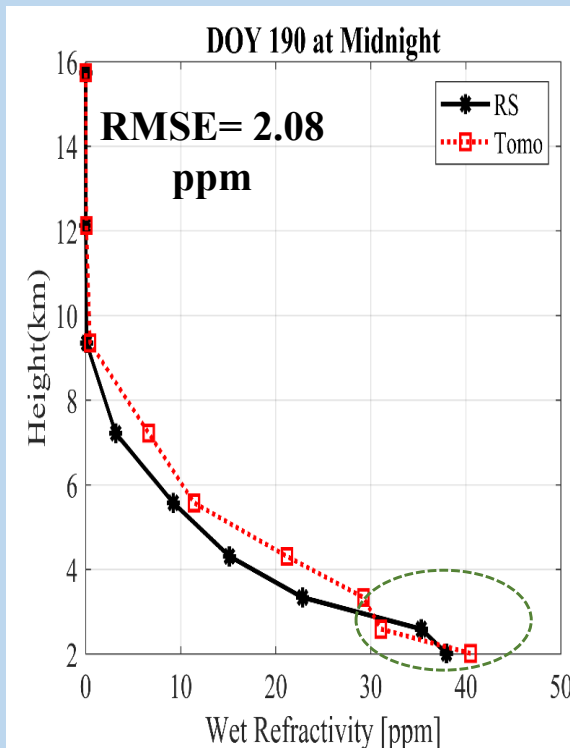


Principle of the GNSS Tomography

The troposphere is divided into a number of 3D elements (voxels). Then, the system of the observation equations is defined by a relation between the **wet refractivity field** and the distance traveled by GNSS rays through voxels.

Vergleich Profile ‚Feuchte Refraktivität‘ (Radiosonde versus Tomographie)

Numerical Results



Average RMSE, Std, and Bias over experimental period of 15 days at the location of RS11120 at Midnight

RMSE [ppm]	Std [ppm]	Bias [ppm]
4.73	3.89	2.52

The consistency of the tomography wet refractivity profile against the radiosonde profile is better for DoY 190 in comparison to DoY 199, especially in the lower layers.

GNSS- Risiken

- Für geodätische Anwendungen von Bedeutung: Abschattung, Multipath, Signalabschirmung durch Bauten
- Für sicherheitskritische Anwendungen aber von hoher Bedeutung:

Jamming

, Denial of navigation service by masking the GNSS signals with noise‘

Die GNSS Signale werden durch einen nahen/leistungsstarken Störsender überlagert

Gegenmaßnahmen: Tracking auf verschiedenen und breiten Frequenzbändern, Erhöhen der Signalstärke, ...

Spoofing

, Transmission of counterfeit GNSS-like signals, with the intention to simulate a false position/time without disrupting target receivers operations‘

Gegenmaßnahmen: **Authentifizierung**, ...

GPS 202x -> GNSS 203x

Genauigkeit /TTFF -> Genauigkeit/TTFF + Integrität +
Authentifizierung -> MEO+LEO PNT

Neue Signale durch G2G : -> reduziert TTFF

Neue Services Galileo : HAS, OSNMA, PRS, CAS (A-CAS) , OS-RA

Neue Services EGNOS V3 (Integrity + Authentifizierung für alle
Signale und eine Vielzahl von Applikationen (Luftfahrt, Bahn,
Schifffahrt, Autonomes Fahren, Drohnen,...))

Disseminationstechniken via SIS und Internet

LEO-PNT, Signals of Opportunity,...

Weitere Sensorintegration : + INS +

Wie reagieren Referenzstationsnetze auf diese neuen Herausforderungen ? (Optionen)

RTK Positionierung ist derzeit jedenfalls noch raschestes und genauestes Verfahren zur Positionsbestimmung (weiter zu unterstützen)

Support für hochwertige PPP Dienste unter Nutzung der eigenen Atmosphärenprodukte + HAS (für Galileo+GPS)
(z.B. durch Generierung von HAS Level2 Messages + Aussendung via Internet)

Signal – Authentifizierung: Wohl nur mittels Zertifizierung der eigenen Datenströme möglich (OSNMA und A-CAS Authentifizierungen laufen im Nutzerreceiver ab)

Support von EGNOS Diensten für weitere Nutzersegmente: Bahn, Schifffahrt, autonomes Fahren, Drohnen, ...

Generierung von troposphärischen Tomographiemodellen (basierend auf GNSS Referenzstationsdaten) in nahe Echtzeit (30min) und Weitergabe an Wettervorhersage

Entwicklung zu LEO-PNT und Signals of Opportunity verfolgen, Software based Referenzstationsreceiver Konzept verfolgen



GPS



**Vielen Dank für
Ihre
Aufmerksamkeit**