Bestimmung des integralen Wasserdampfgehaltes in der Atmosphäre basierend auf GNSS – Beobachtungen und dessen Potential zur Verbesserung der Wettervorhersage in Österreich

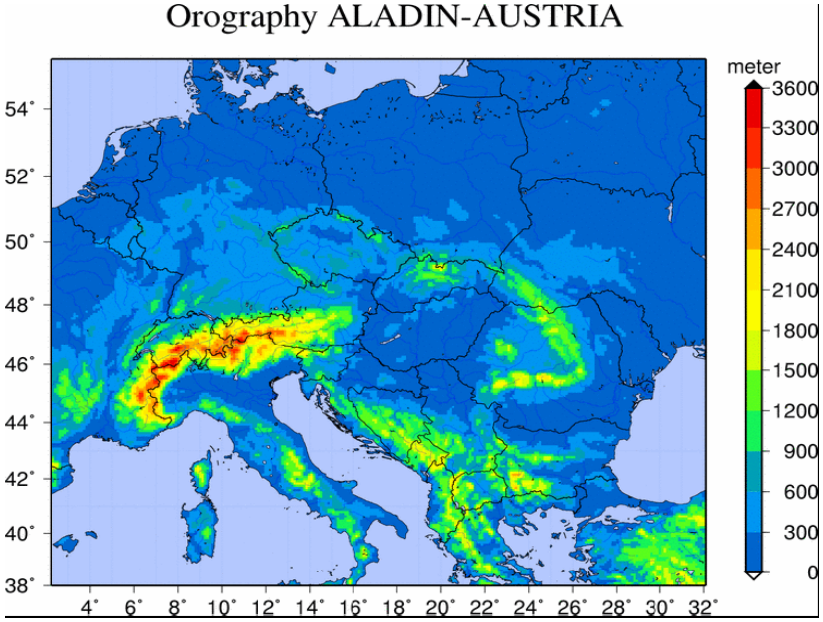
Gregor Möller, Robert Weber, Ana Karabatic, Xin Yan and Yong Wang

29.September 2011

Wettervorhersagemodell - ALADIN

Für kurzfristige Vorhersagen (+72h) betreibt die ZAMG das NWP Modell ALADIN-AUSTRIA

- Interpolation der Analyse von ARPEGE auf das ALADIN-Austria Gitter [Wang 2006]
- Datenassimilationssystem ALADIN 3D-VAR zur Verbesserung der Prognose (Satelliten, Radiosondierung, Wind Profiler, Bojen, ...)



Haupteigenschaften des Modells

Horizontale Auflösung:	9.6km (320x277)
Vertikale Auflösung:	60 Schichten
Vorhersage-Bereich:	72h, 60h
Berechnungen/Tag:	4 (0,6,12,18 UTC)
Zeitliche Auflösung:	1 Stunde

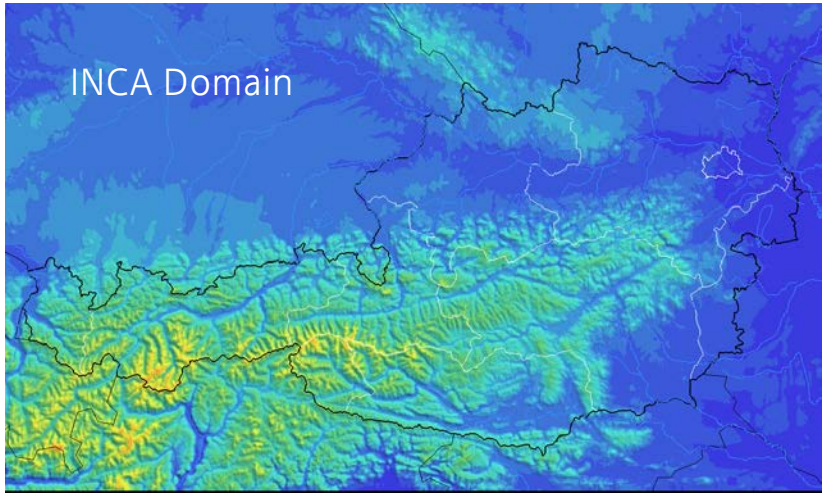
Wettervorhersagemodell - INCA

INCA (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis) für Vorhersagen im Nowcast-Bereich (0-6h)

- Verbesserung der numerischen Modelle (ALADIN, ECMWF) durch Kombination mit Geländeinformationen und aktuellen Messwerten (Stationsdaten, Radar, Satellit)
- in erster Linie für die bessere Vorhersage von schweren Regenfällen und Flutkatastrophen entwickelt

Haupteigenschaften des Modells

Horizontale Auflösung:	1.0km (600x350)
Vertikale Auflösung:	100-200m
Temperatur, rel. Feuchte	1 Stunde
Niederschlag, Bewölkung	15 Minuten
Wind	10 Minuten



[HAIDEN 2010]

Verbesserungspotential in der Vorhersage?

"Because of the potentially complicated vertical temperature and humidity structure in the lower atmosphere, it is not sufficient to just rely on near-surface values"... [HAIDEN 2010]

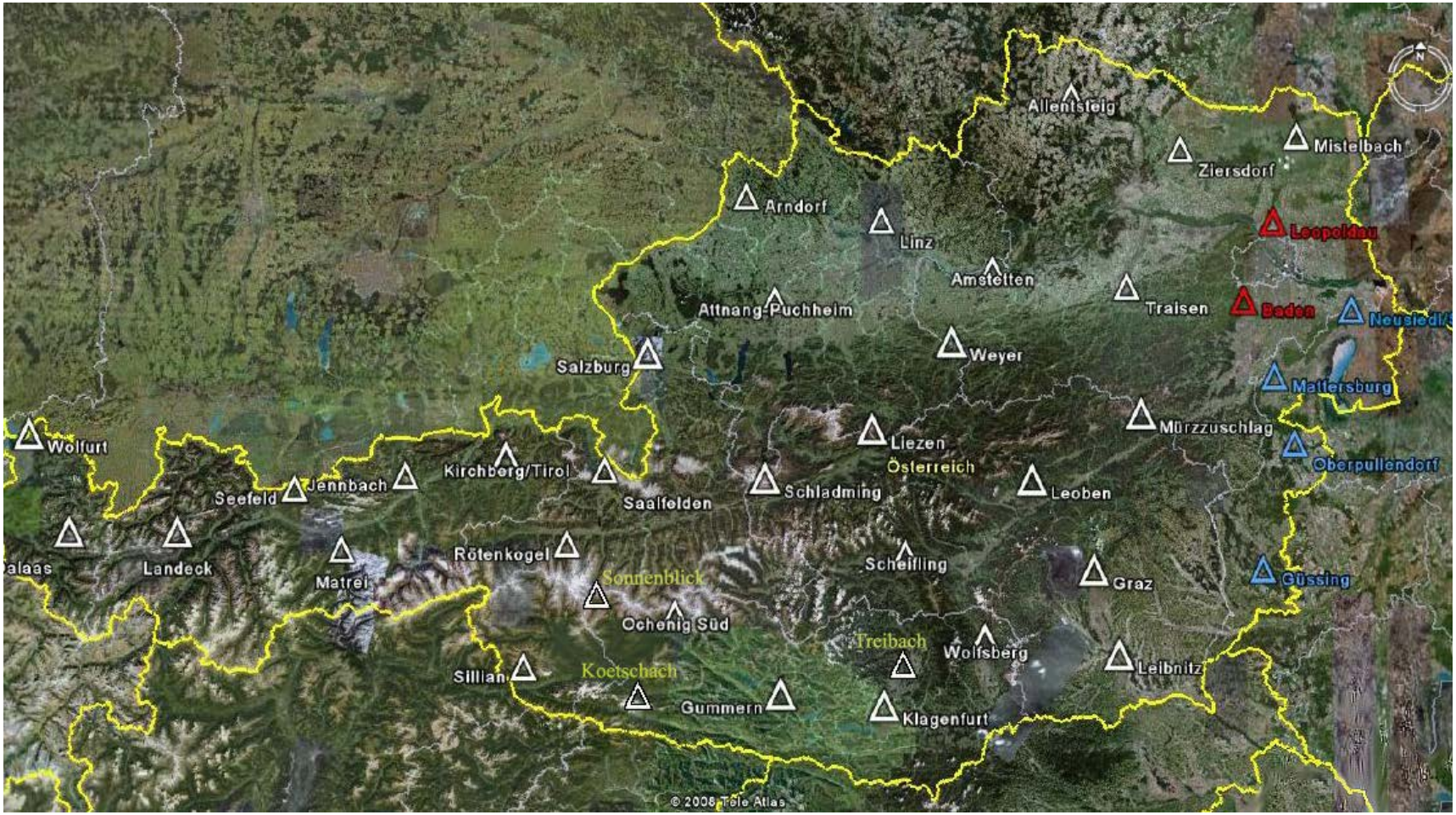
The conventional observation devices could not provide good humidity observations in a good time and spatial resolution, especially for the lower to middle troposphere. The wide deployment of GPS receivers and GPS processing techniques have provided the meteorologists with a new source of information. [GNSSMET 2010]

... in the ALADIN model the intensity of convective precipitation is often underestimated... [HAIDEN 2007]

Many impact studies indicate that assimilation of ground based GPS data improves NWP model skill, in particular forecasting of medium to heavy precipitation... [E-GVAP 2006]

GNSS Stationsverteilung

43 GNSS Referenzstationen mit GPS/GLONASS Empfängern (37 EPOSA, 3 KELAG, 3 IGS/EUREF)



Berechnungsstrategie

1. ZTD in Bernese 5.0

Input: stündliche RINEX Daten (30 sek) & CODE/IGS precise products (IGU)

Prozessierung auf *double-difference level*

Sigma-Strategie (L5/L3)

5° Elevation

Niell wet mapping function

Output: stündl. geschätzte troposphärische LZV (ZTD)

30 Minuten nach jeder vollen Stunde

2. ZWD aus ZTD

Input: vorher berechnete ZTD

Meteorologische Daten an den GNSS-Stationen

(Druck und Temperatur)

Output: hydrostatische & feuchte LZV (ZHD & ZWD)

Meteorologische Daten

- Meteorologische Daten an den GNSS-Stationen nicht verfügbar
- Genauigkeit ZWD: +/- 5mm zu erreichen, Druck: +/- 0.3hPa bekannt sein
- Extrapolation des Drucks an den GNSS Stationen aus TAWES Daten

$$P_s = P_T \left(\frac{T_T - \gamma(z_G - z_T)}{T_T} \right)^{\frac{g}{R\gamma}}$$

P_T, T_T Druck und Temperatur an der TAWES-Station
$z_{T,G}$ orthometrische Höhe (TAWES- & GNSS-Station)
g Schwerebeschleunigung an der TAWES-Station
γ Temperaturgradient

TAWES Stationsnetz

Saastamoinen Model

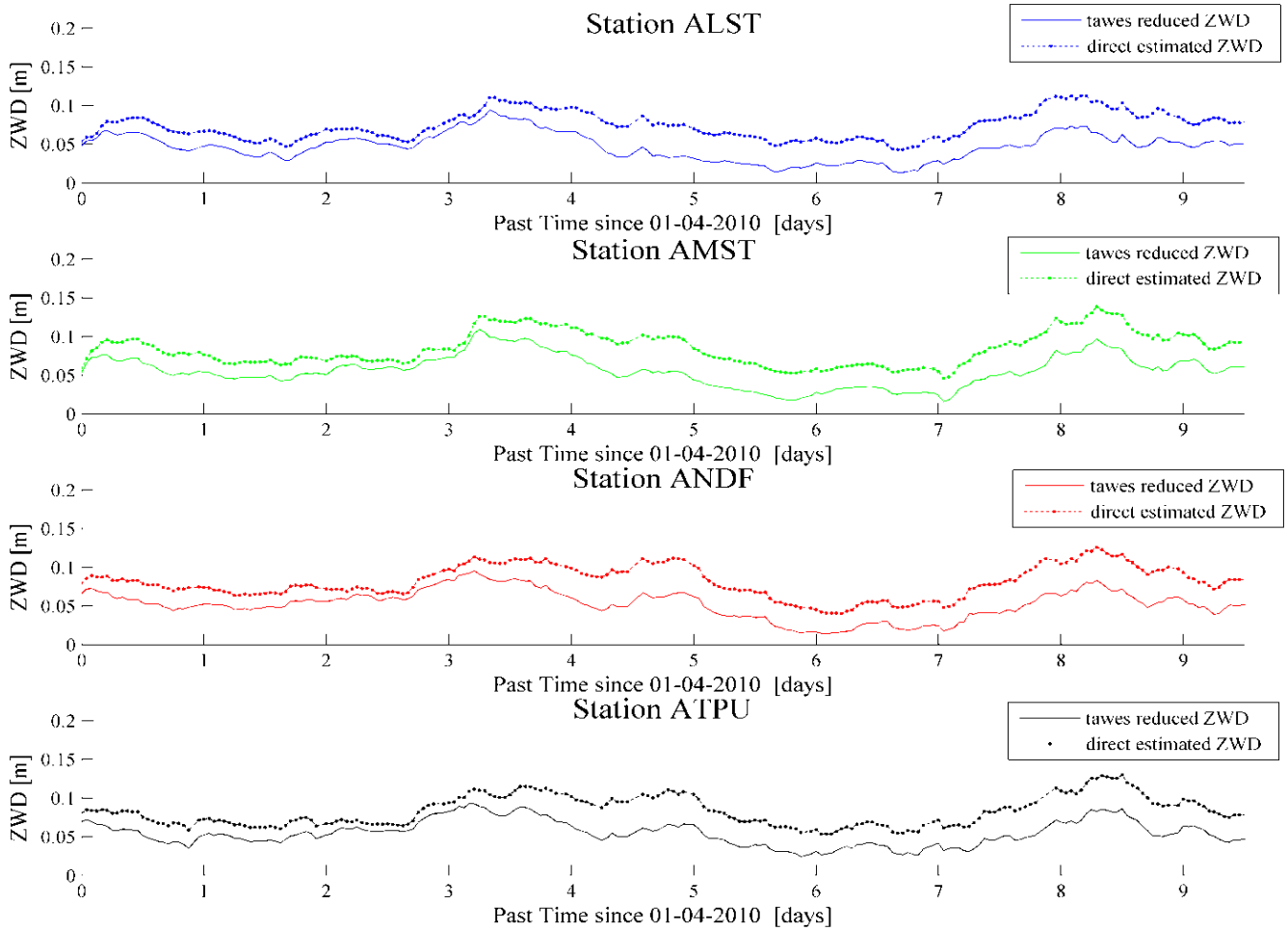
$$\Delta\rho_h^z = 0.0022768 \frac{p_s[hPa]}{f(\Phi, h)}$$

$$\Delta f(\Phi, h) = 1 - 0.00266\cos(2\Phi) - 0.28 * 10^{-6} z_G$$

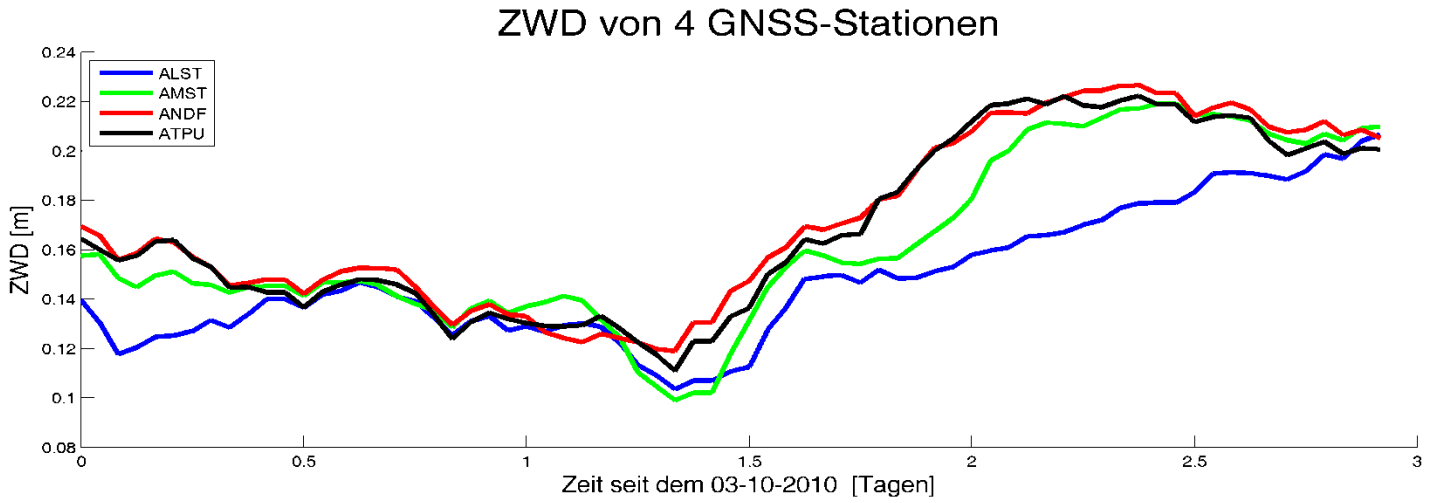
Φ geographische Breite
$\Delta\rho_h^z$ hydrostatische LZV in Zenitrichtung

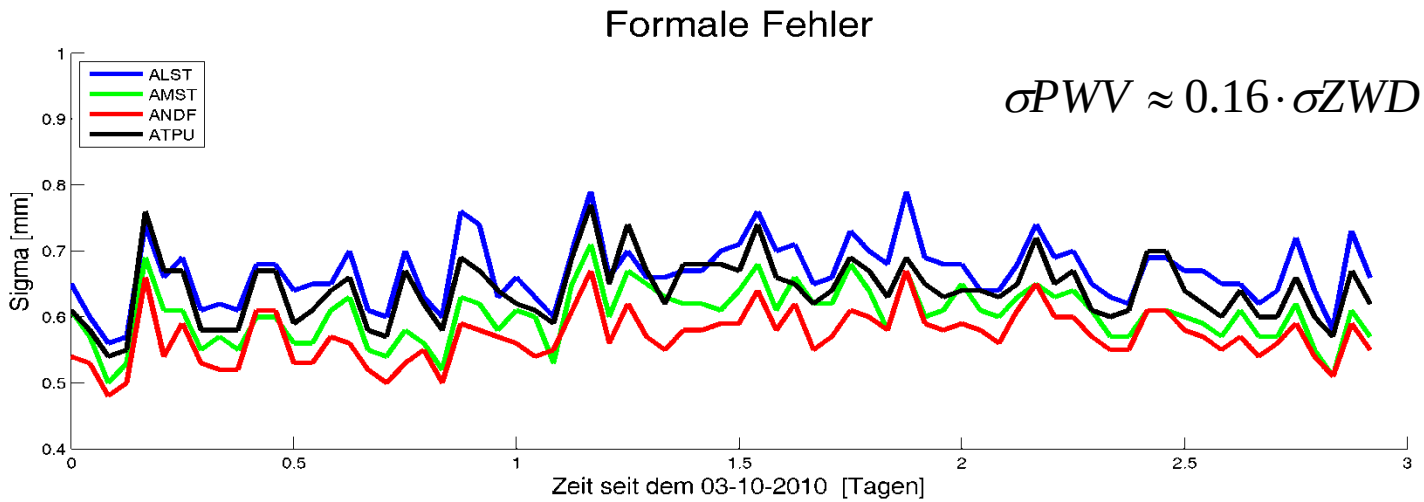
Einfluss des wahren Stationsdrucks auf ZWD

Comparison between direct estimated and TAWES reduced ZWD



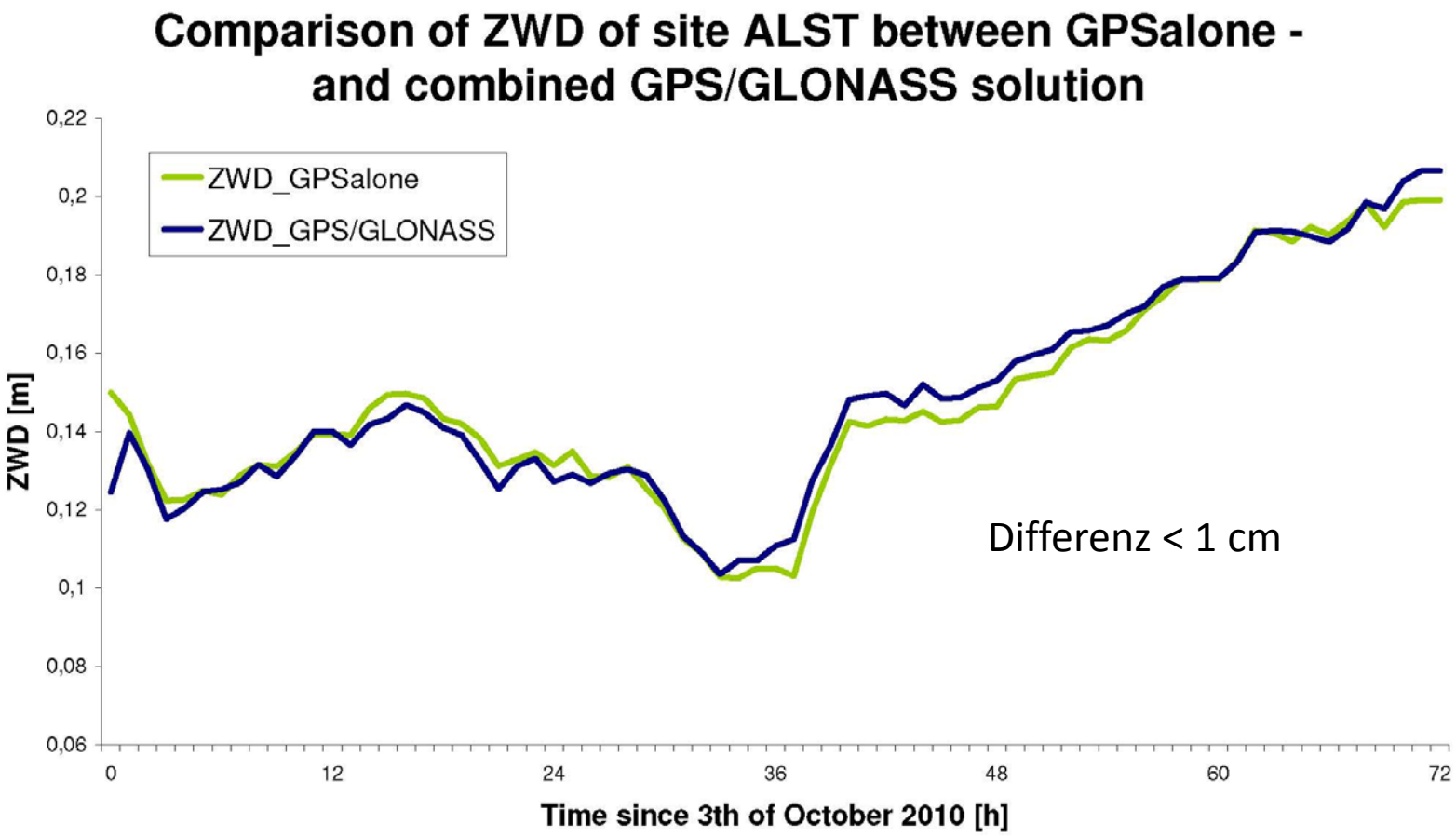
ZWD & Formale Fehler



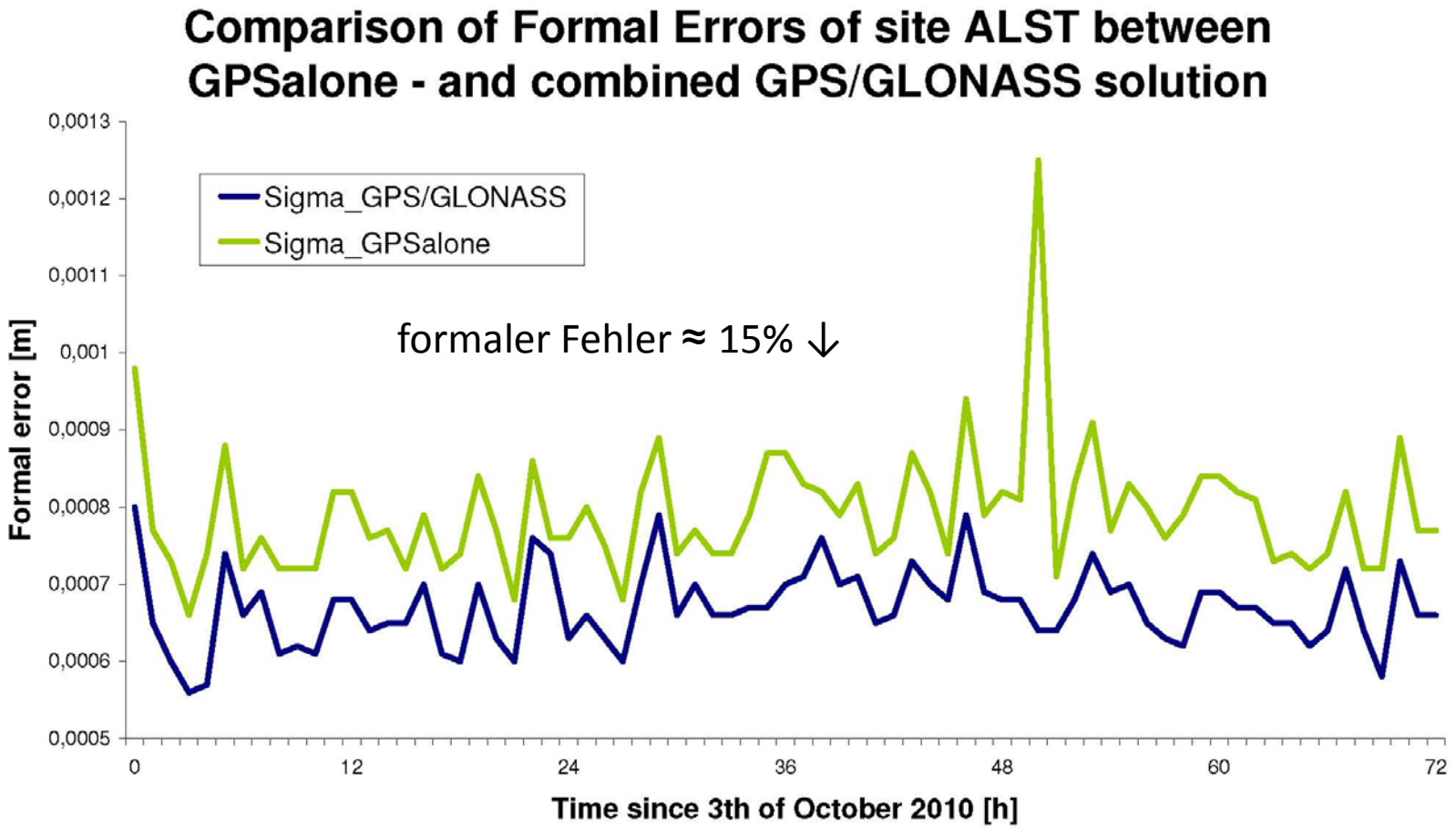


$$\sigma PWV \approx 0.16 \cdot \sigma ZWD$$

GPS & GLONASS - ZWD



GPS & GLONASS – Formaler Fehler des ZWD



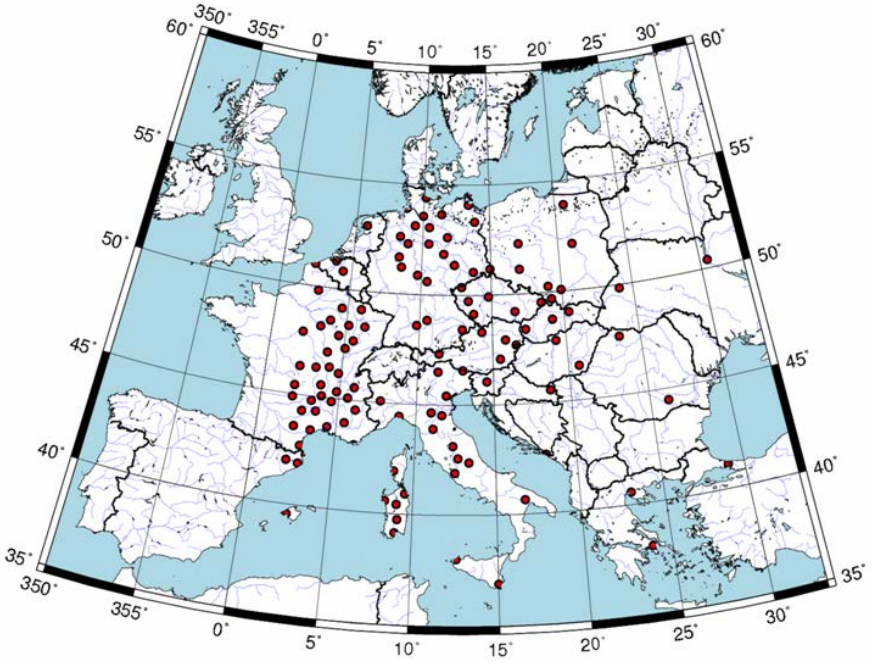
- theoretisch: nach dem Wurzelgesetz $\sigma_n = \sigma \cdot \sqrt{n}$, formaler Fehler 28% ↓

3DVAR-ALADIN Assimilation

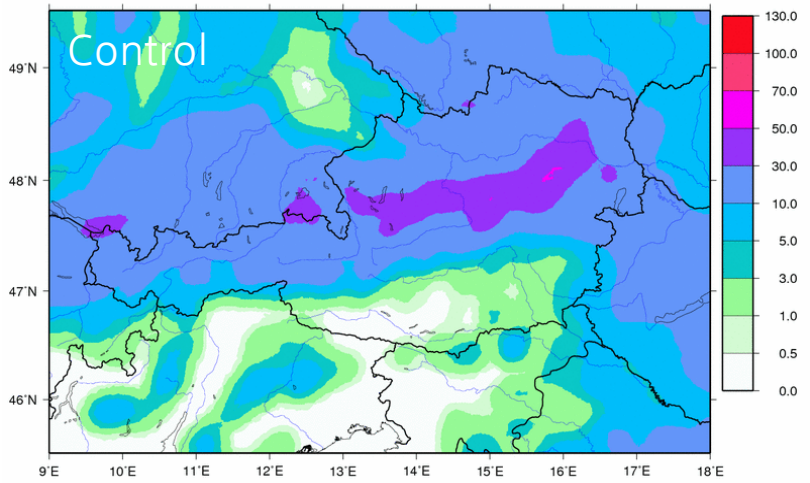
„beste“ Assimilationsstrategie:

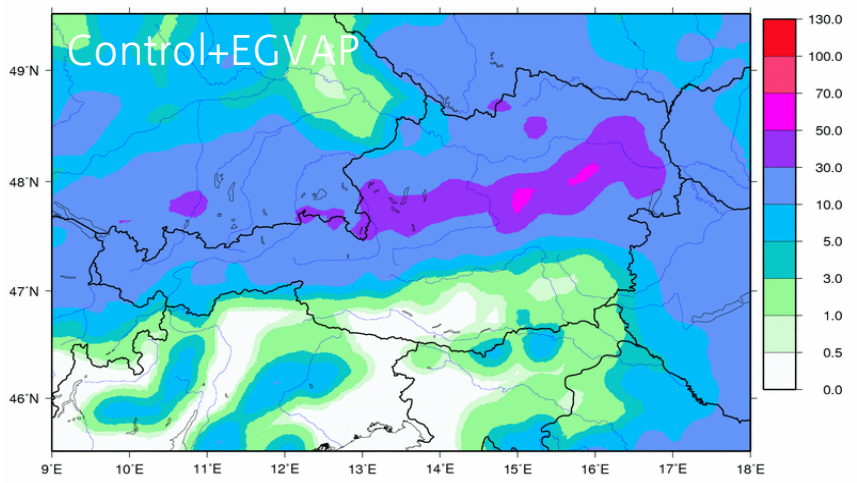
- Korrektur des Muttermodells (ALADIN) mit GPS-Daten
- dieses als „First Guess“ in INCA verwenden

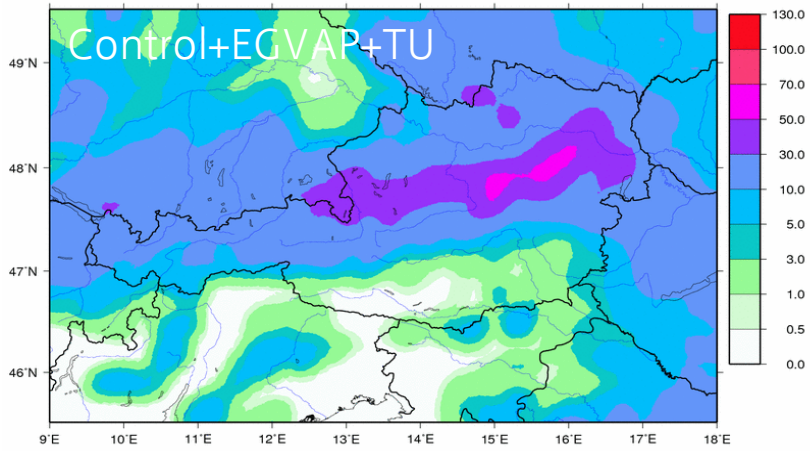
- Control
- Control + EGVAPsparse
- Control + EGVAPsparse + TU

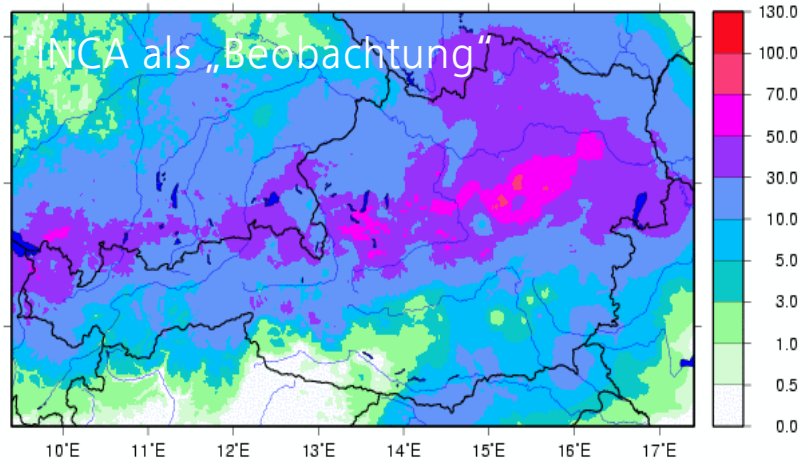


3DVAR-ALADIN - Niederschlag



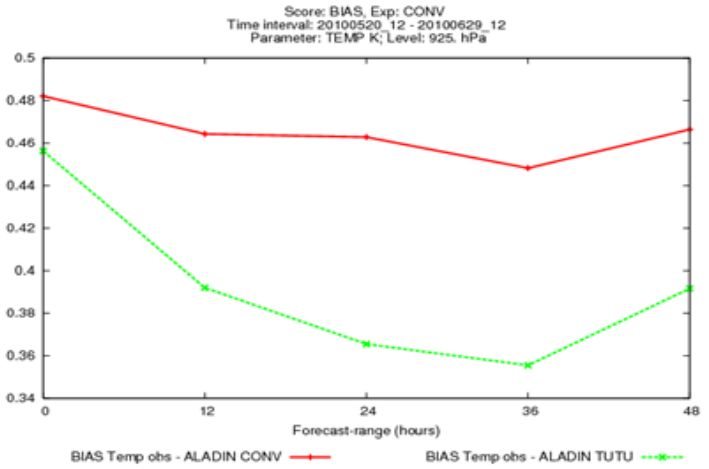


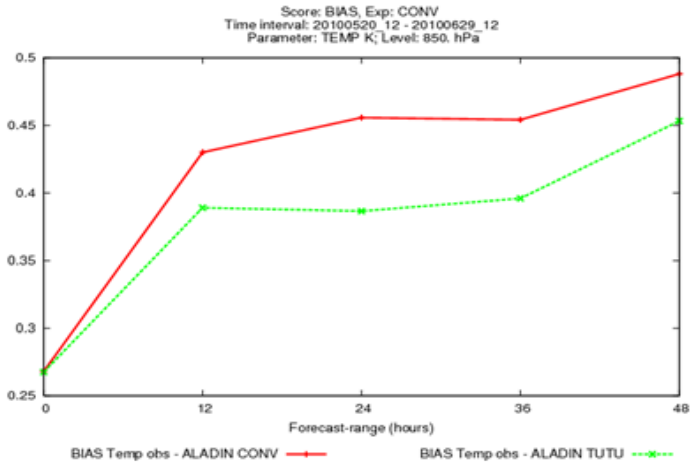


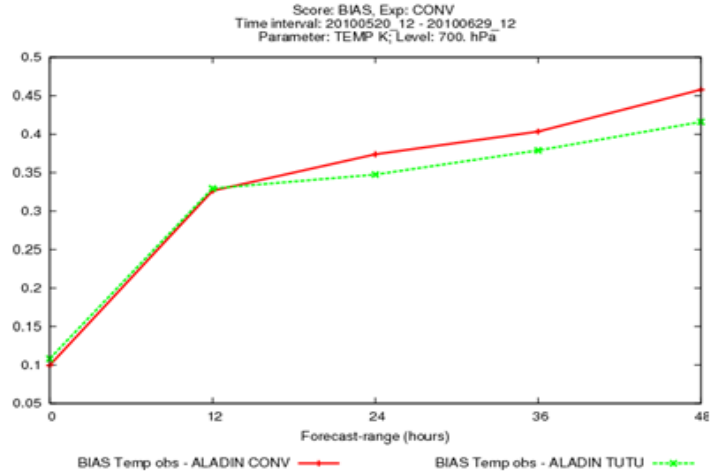


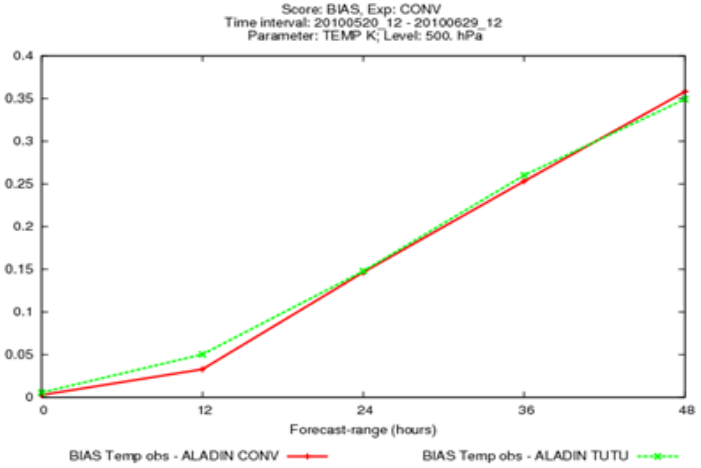
3DVAR-ALADIN - Temperatur

Systematischer Fehler zwischen Vorhersage und Sondierungsdaten









Ausblick

1. Steigerung der Genauigkeit der PWV-Werte

- Implementierung verbesserter „Mapping Functions“ (VMF1)
- ZHD aus Raytracing
- „Real-Time controlled IGS clocks and orbits“
- Mehr GNSS-Signale
  - GLONASS FOC / GLONASS-K (CDMA)
  - GALILEO und COMPASS befinden sich im Aufbau

2. Erweiterungen

- Azimut abhängige Schätzung des Wasserdampfgehaltes (Gradienten)
- GNSS 3D Tomographie

DANKE FÜR IHRE

AUFMERKSAMKEIT!

Das **Projekt GNSSMET Austria** wurde im Rahmen der 6. Ausschreibung des Österreichischen Weltraumprogrammes von der **FFG** gefördert

Literaturverzeichnis

[Wang 2006] Wang, Y., T. Haiden, and A. Kann, 2006: The operational limited area modelling system at ZAMG: ALADIN-AUSTRIA. Austrian Contributions to Meteorology and Geophysics. Vol. 37, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Vienna, Austria, 33 pp.

[Haiden 2010] T. HAIDEN, A. KANN, G. PISTOTNIK, K. STADLBACHER, AND C. WITTMANN: Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) System description

[E-GVAP 2006] E-GVAP Meteorology and geodesy synergy, EUREF Symposium, 2005-06

[GNSSMET 2010] Projekt: GNSSMET-AUSTRIA, Bestimmung atmosphärischer Feuchteänderungen aus GNSS - Beobachtungen und deren Assimilation in das operationelle Wetterprognosesystem ALADIN-AUSTRIA, Zwischenbericht für den Zeitraum 1.Juni 2009 – 31.März 2010.

Verbesserungen in der Genauigkeit

Auswertung auf Doppel-Differenz-Level

- Keinen Einfluss der Satellitenuhrfehler
- Empfängeruhrfehler sollte auf 1 μs genau bestimmt sein
- Verwendung der Broadcast-Satellitenuhrfehler ausreichend

- Einfluss der Satellitenorbits abschätzbar anhand der Gleichung von I.Bauersima

$$\Delta r = \frac{l}{\rho} \cdot \Delta R$$

Δr	resultierender Fehler
ΔR	Bahnfehler
l…	Länge der Basis
ρ	Mitllerer Abstand Empfänger/Satellit ≈ 25‘000 km

- Bahnfehler von 0.5m ergibt bei Basislinie von 100 km ein Fehler von rund 2 mm