

15. Österreichischer Klimatag 4. April 2014, Innsbruck



Beobachtung von Prozessen und klimatischen Veränderungen in der Atmosphäre mittels Radio-Okkultationsdaten

U. Foelsche, B. Scherllin-Pirscher, J. Danzer, A.K. Steiner F. Ladstädter, Th. Rieckh, J. Schwarz, R. Klingler und G. Kirchengast WegCenter und IGAM/IP, KF-Universität Graz

> Gefördert vom Austrian Science Fund Projekt: BENCHCLIM P22293-N2





Daten-Konsistenz



Für Langzeit-Untersuchungen des Klimawandels aus dem Erdorbit müssen wir Daten von verschiedenen Satelliten kombinieren.

Im besten Fall wünschen wir uns:

Konsistent Resultate für verschiedene Satelliten und

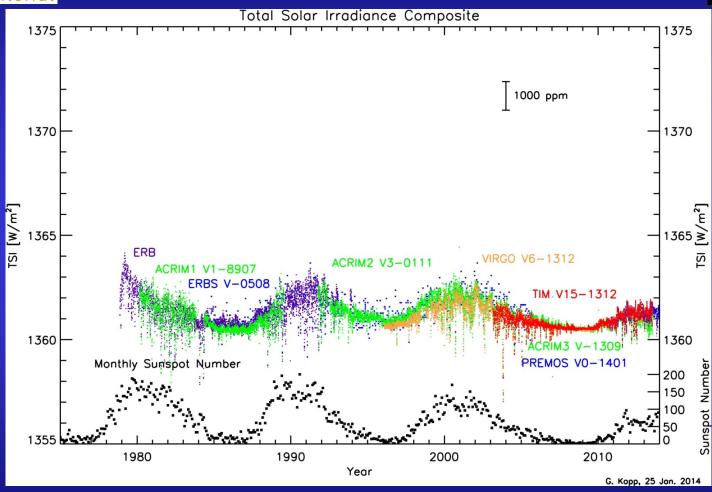
Konsistente Resultate für verschiedene Zentren

Das ist überhaupt nicht selbstverständlich.



Messung der Solar-Konstante



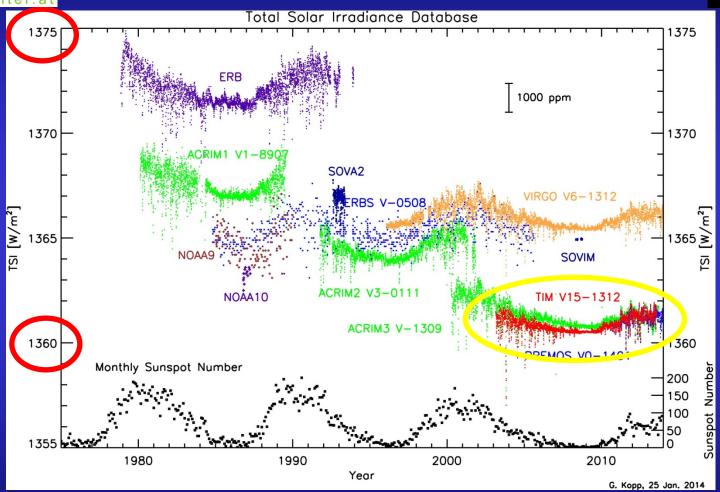


"Total Solar Irradiance" (TSI): Kombination unterschiedlicher Satelliten-Messungen (Quelle: World Radiation Center).



Messung der Solar-Konstante





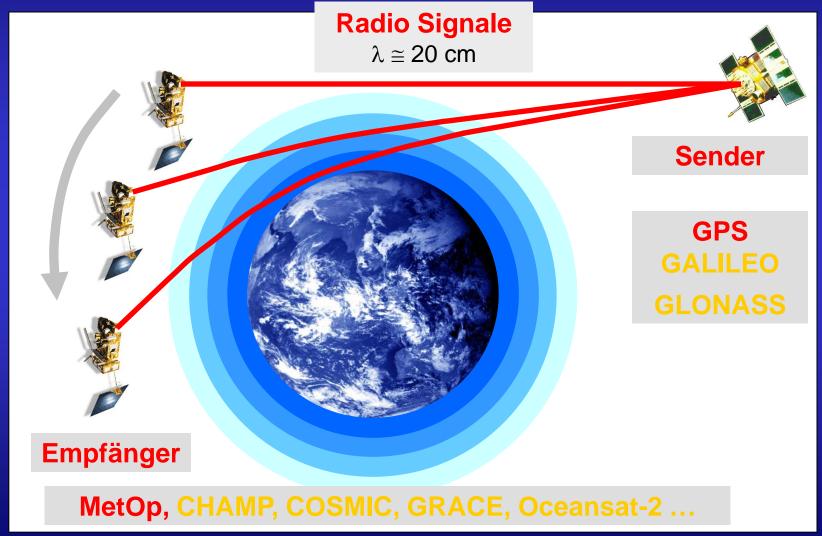
TSI – Original Messungen (Quelle: WRC). Systematische Differenzen sind etwa so groß wie der anthropogene Strahlungsantrieb.

Ohne Überlapp ist eine Trend-Bestimmung unmöglich.



GNSS Radio-Okkultation







GNSS Radio Okkultation



Phasenwegsverlängerung durch die Atmosphäre

- ~ 1 mm Mesopause
- ~ 20 cm Stratopause
- ~ 20 m Tropopause
- ~ 1- 2 km Oberfläche

Phasenwegsverlängerung

Orbit Information, Ionosphärenkorrektur

Atmosph. Phasenwegsv.

Orbit Information

Brechungswinkel

Abel Transformation

Refraktivität

Clausius-Mossotti Beziehung

Dichte

Hydrostatisches Integral

Druck

Gasgesetz

(Trockene) Temperatur

Temperatur

emperatur "al :

Temperatur

Wasserdampf

Wasserdampf

oder beides

Stratosphäre Obere Troposphäre

Untere Troposphäre



Klimabeobachtung



Radio-Okkultationsmessungen bieten eine attraktive Kombination aus:

- Langzeit-Stabilität, da RO Daten weitestgehend selbstkalibriert sind
- Hohe vertikale Auflösung und hohe Genauigkeit
- Globale Bedeckung, gleich Beobachtungsdichte (und Qualität) über Ozeanen und Kontinenten.
- All-Wetter Tauglichkeit, Messungen bei Tag und Nacht Die geringe horizontale Auflösung ist kein Nachteil, da Klima-Daten ohnehin horizontal gemittelt werden.

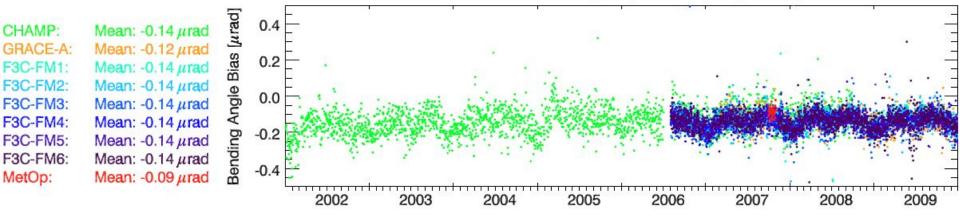
RO Daten sind die einzigen Satelliten-Daten, die beim ECMWF ohne Bias Korrektur assimiliert werden können.



RO Daten-Qualität







Brechungswinkel-Statistik zw. 65 km und 80 km Höhe "Bias" meint – Differenz zur MSIS Klimatologie – extrem ähnlich für alle Satelliten (UCAR Daten). Jahres- und Halbjahresgang.

Keine Hinweise auf Instrumenten-Alterung oder Inhomogenitäten im RO Datensatz.

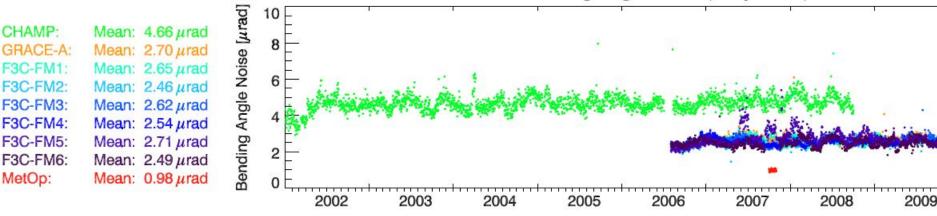
Minimales Signal des Sonnenaktivitäts-Zyklus.



RO Daten-Qualität







Brechungswinkel-Statistik zwischen 65 km und 80 km Höhe Rauschen – unterschiedliche Niveaus für die verschiedenen Satelliten GRACE-A ("zero differencing") ca. so wie F3/COSMIC ("single diff.")

Stärkeres Rauschen bei CHAMP führt zu stärkerer Gewichtung der Hintergrund-Daten bei der statistischen Optimierung – und zu stärkerer Abwärts-Propagierung potentieller Hintergrund-Fehler



F3C/FM-1:

F3C/FM-2:

F3C/FM-3:

F3C/FM-4:

F3C/FM-5:

F3C/FM-6:

n: 0.00 %

Mean: -0.00 %

Mean: 0.00 %

Mean: -0.00 %

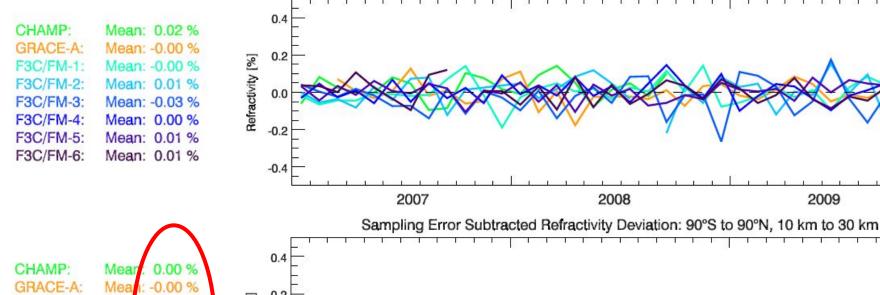
Mean: 0.00 %

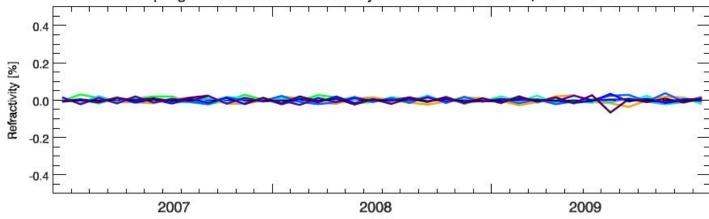
Mean: -0.00 %

Refraktivität – Konsistenz



2009





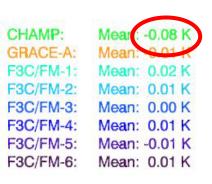
Refractivity Deviation: 90°S to 90°N, 10 km to 30 km

Monatliche Differenzen der Refraktivität vom Satelliten-Mittel noch weiter verringert nach Abzug des Abtastfehlers



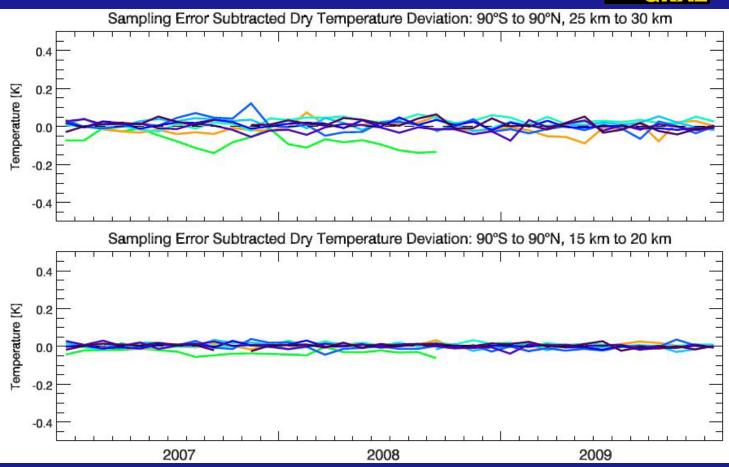
Trockene Temp. – Konsistenz





CHAMP: Mean: -0.03 K Mean: 0.00 K GRACE-A: F3C/FM-1: Mean: 0.01 K F3C/FM-2: Mean: 0.00 K F3C/FM-3: Mean: -0.00 K F3C/FM-4: Mean: 0.00 K F3C/FM-5: Mean: 0.00 K F3C/FM-6:

Mean: 0.00 K



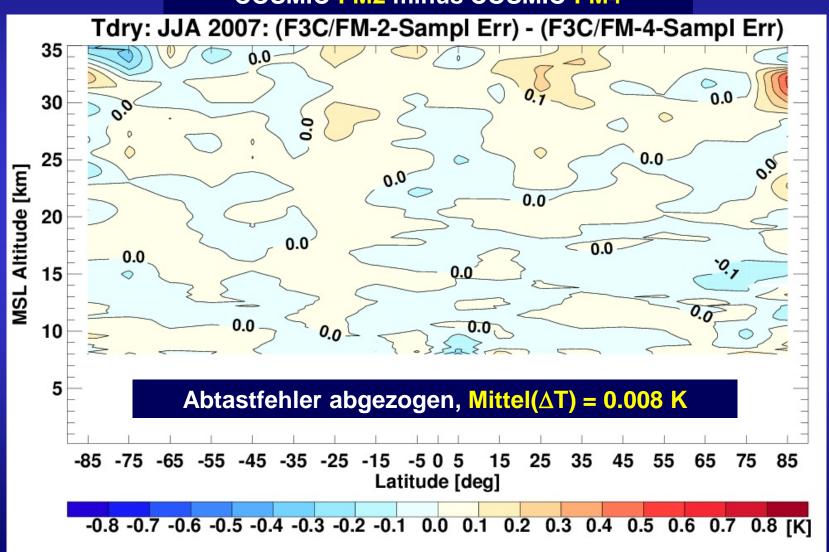
Monatliche Differenzen der Trockenen Temperatur zum Satelliten-Mittel Abtastfehler abgezogen 15 – 20 km, 25 – 30 km CHAMP-Offset nimmt mit der Höhe zu – Stat. Opt., Hintergrund Bias?



Konsistenz – JJA 2007



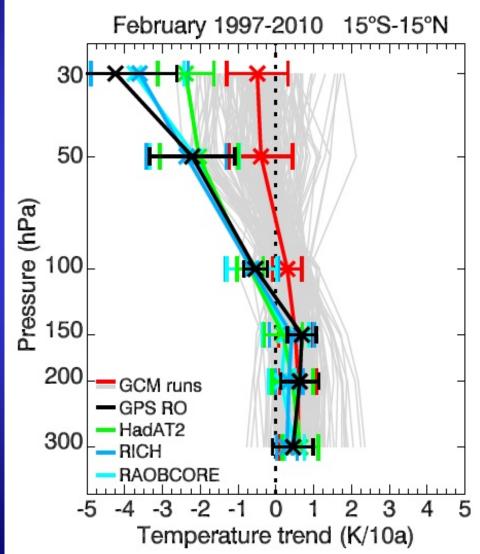
COSMIC-FM2 minus **COSMIC-FM4**





Erste Trend-Resultate





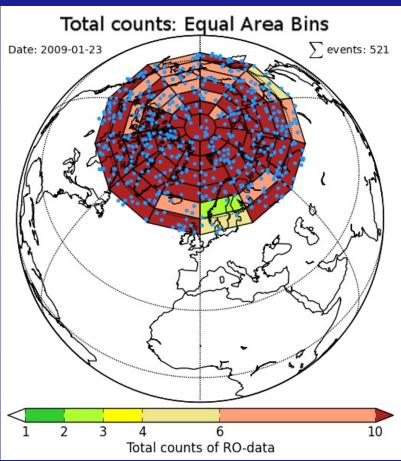
RO: 1997; 2002-2010 CHAMP
HadAT2, RICH, RAOBCORE:
Homogenisierte Radiosonden
Klima-Datensätze;
GCMs: IPCC AR4 A2 und B1
Szenario-Läufe von
ECHAM5+HadCM+CCSM3

Übereinstimmung zwischen RO und Radiosonden innerhalb der Unsicherheiten. Stärkere Stratosphären-Abkühlungen als in den GCMs



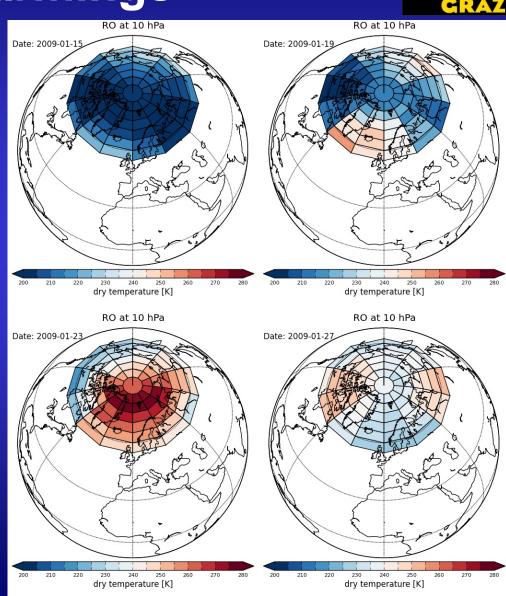
Sudden Stratospheric Warmings





Das spektakuläre Ereignis im Jänner 2009 ...

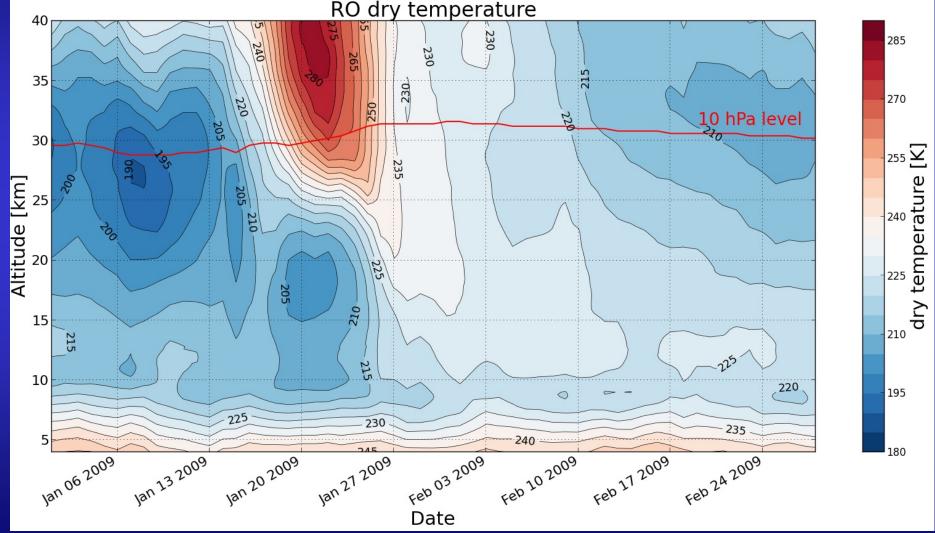
Klingler et al., OPAC 2013





Sudden Stratospheric Warmings

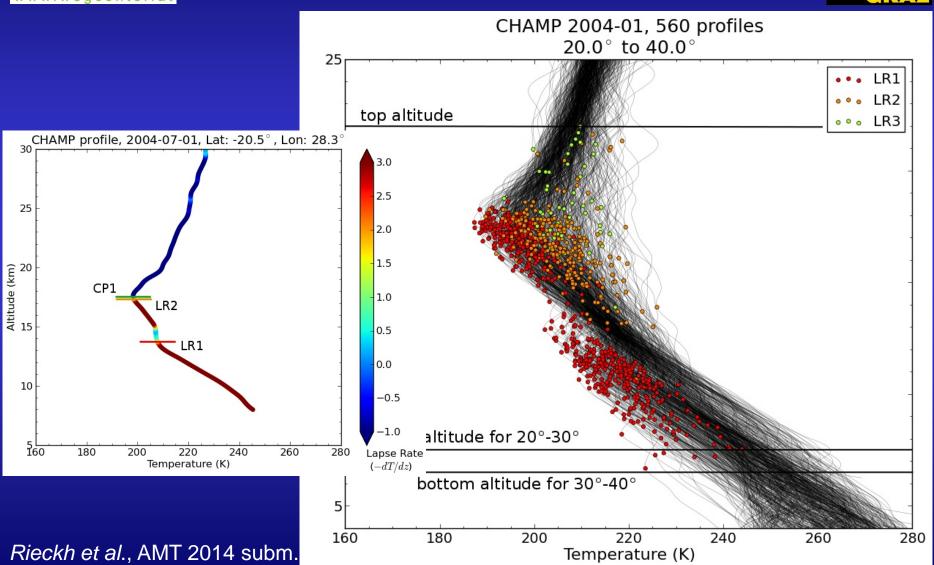






Multiple Tropopausen

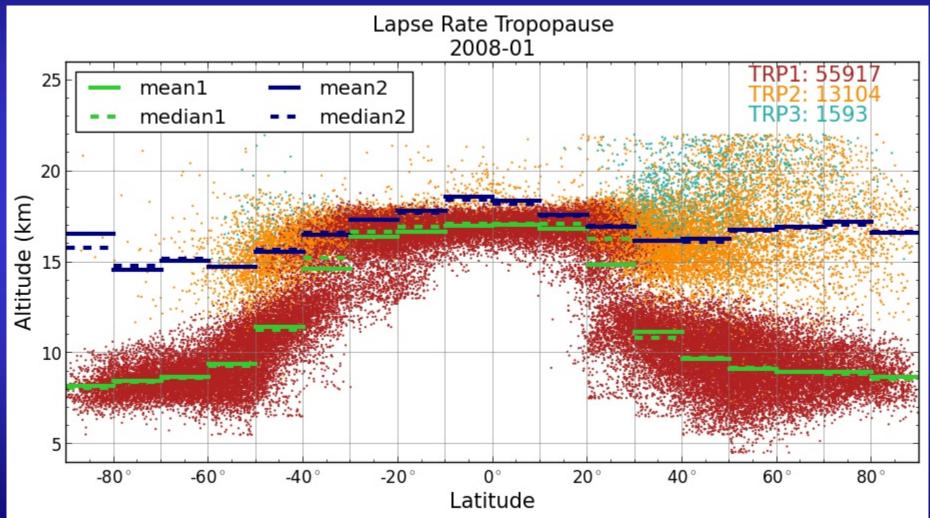






Multiple Tropopausen



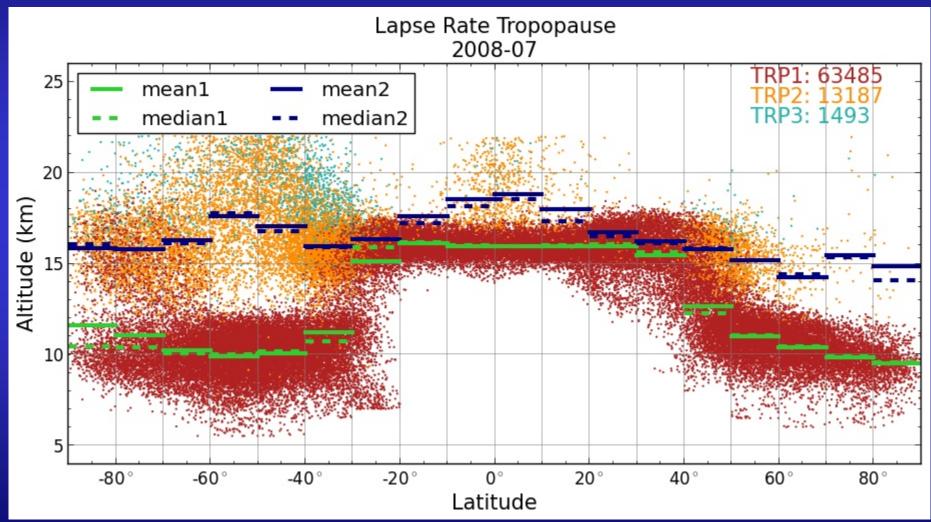


... treten bevorzugt auf der Winterhemisphäre auf – auf der Nord-



Multiple Tropopausen

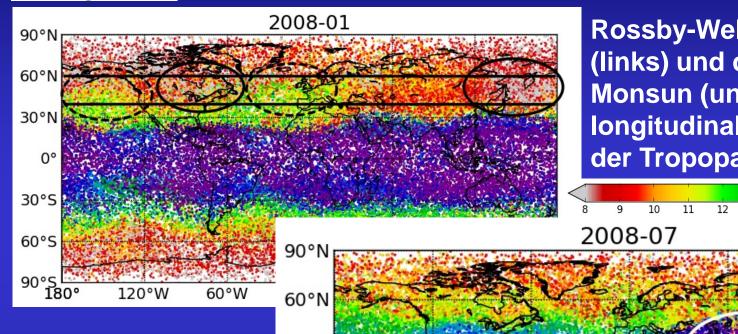




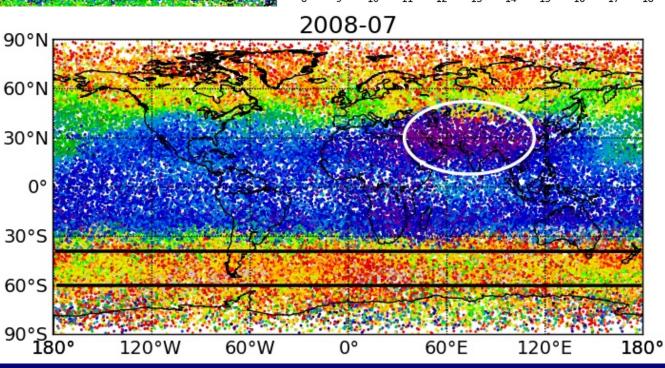


Tropopausen-Variation





Rossby-Wellen im Winter (links) und der Sommer-Monsun (unten) führen zu longitudinalen Änderungen der Tropopausen-Höhe.





Zusammenfassung



Radio-Okkultationsmessungen haben großes Potential für die globale Klima-Beobachtung

Klimatologien von unterschiedlichen Satelliten:

- Extrem hohe Konsistenz bei der Refraktivität
- Trockene Temperatur: Kleine CHAMP Unterschiede (0.05 K) hauptsächlich über ~25 km (Initialisierung)
- Interessante erste Trend-Resultate

Atmosphärische Phänomene:

- Sudden Stratospheric Warmings (hohe Beobachtungsdichte in hohen Breiten)
- Tropopause (gut vertikale Auflösung)





Vielen Dank!



WegCenter Klimatologien



"Profile-retrieval"- "Occultation Processing System – OPS" (Version: 5.4) startet mit Phasen- und Orbitdaten unterschiedlicher Zentren (UCAR, GFZ, EUMETSAT, ..).

Konsistentes retrieval für alle Satelliten.

Statistische Optimierung der Brechungswinkel-Daten zwischen 30 and 120 km, vertikal korrelierte Hintergrund- und Beobachtungsfehler. Der Beobachtungsfehler wird aus der Varianz der Profile >65 km ermittelt.

Hintergrundinformation: ko-lokierte Profile aus ECMWF Vorhersagen (+ MSIS Klimatologie darüber).



Qualität der RO Klimatologien



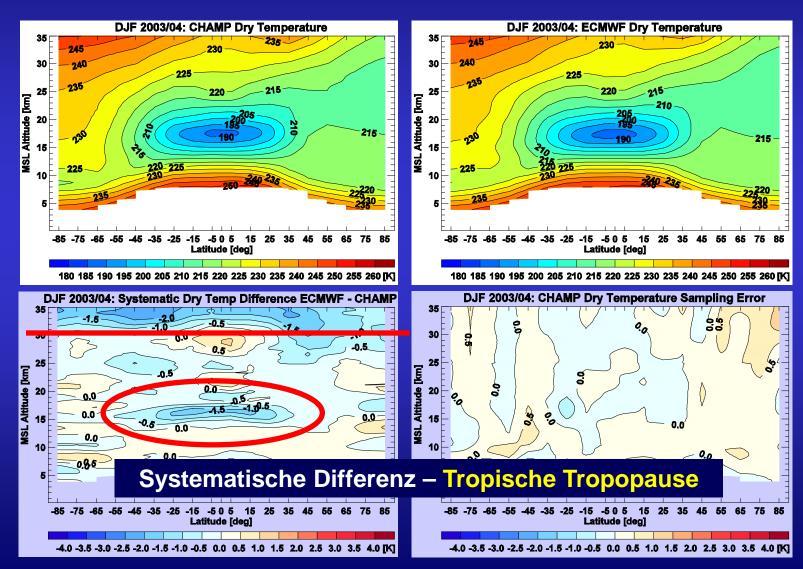
Vergleich mit ECMWF Analysen

(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)



Trockene Temperatur DJF 2003/04





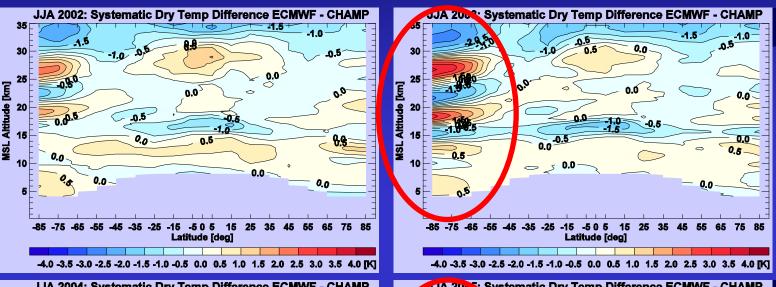


Systemat. Differenz – Sommer

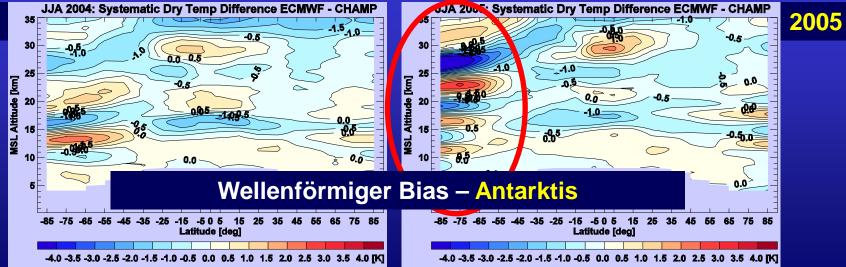


2003

2002



2004



Gobiet et al., GRL 2005, Foelsche et al., ClimDyn 2008



Systemat. Differenz – JJA2006

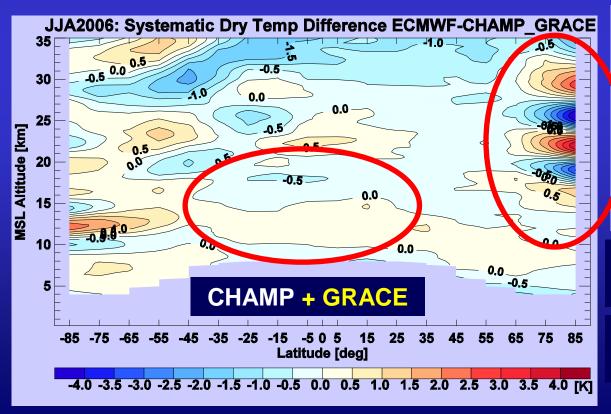


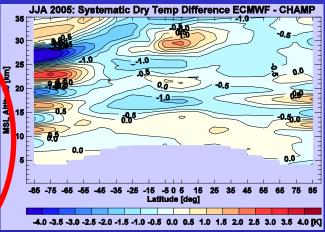
Februar 2006: Große Änderung bei ECMWF

Horizontale Auflösung: T511 → T799

Vertikale Auflösung: L60 → L91

Top Modell Level: 0.1 hPa \rightarrow 0.01 hPa





Tropische Tropopause: Differenz verschwunden

Wellenförmiger Bias jetzt über der Arktis

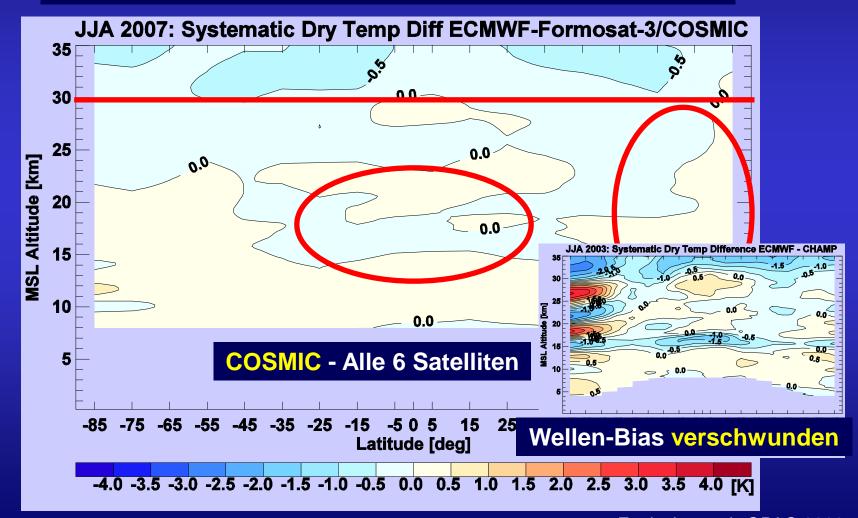
Foelsche et al., ClimDyn 2008



Systemat. Differenz – JJA 2007



Ab Dezember 2006: Assimilation von RO Daten bei ECMWF





Refraktivität



Mikrowellen-Refraktivität (N) – ist eine skalierte Darstellung des Brechungsindex (n) – abhängig von der Temperatur (T), dem Druck (p), und dem Wasserdampfpartialdruck (e):

$$N \equiv (n-1) \cdot 10^6 = k_1 \frac{p}{T} + k_2 \frac{e}{T^2}$$

In trockener Luft (kleines e), ist die Refraktivität direkt proportional zur Luft-Dichte (ρ):

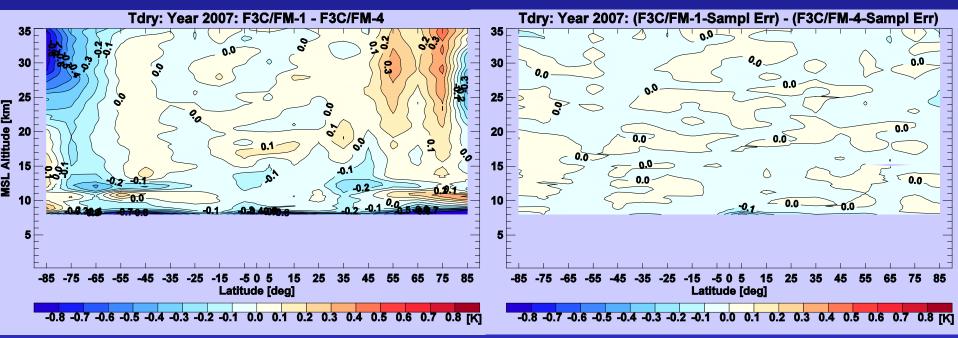
$$N = k_3 \rho$$

$$T_{dry} = k_1 \frac{p}{N}$$



Konsistenz von RO Klimatologien





Systematische Differenz zw. zonal gemittelten T_{dry} Klimatologien des Jahres 2007 von zwei verschiedenen Formosat-3/ COSMIC Satelliten (FM-1 und FM-4).

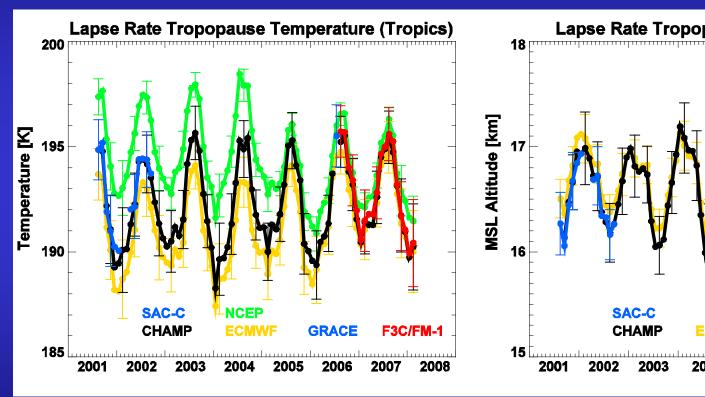
Nach Abzug des jeweiligen Abtastfehlers (von beiden Klimatologien) sind die Differenzen praktisch überall < 0.1 K.

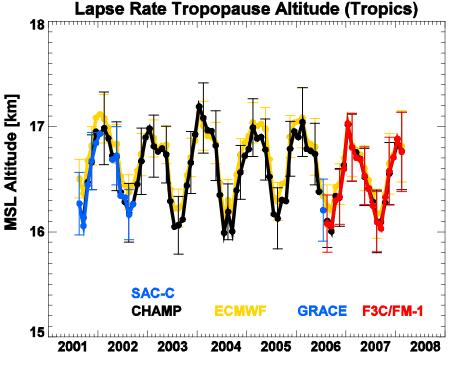


Daten-Konsistenz



Tropische Tropopause





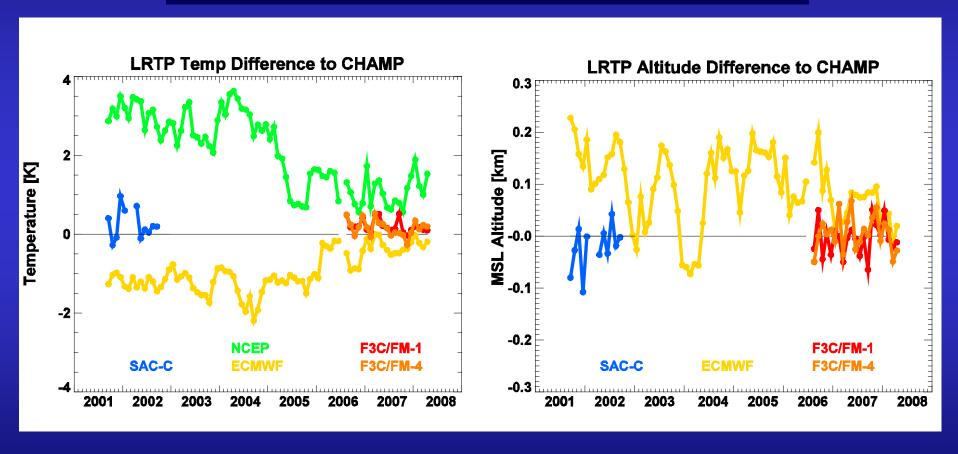
Exzellente Übereinstimmung der RO Daten. Temperatur-Offsets in NCEP und ECMWF Analysen – weniger stark ausgeprägt bei der Tropopausen-Temperatur



Tropopausenparameter



Tropische Tropopause - Anomalien

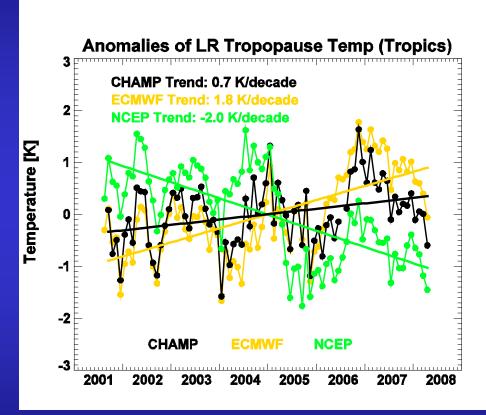


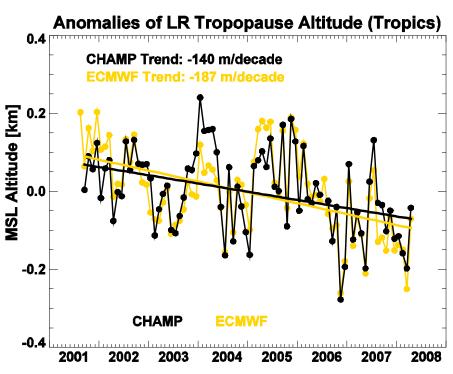
Systematische Veränderungen: NCEP ~3 K wärmer als RO bis 2005 (dann ~1K) ECMWF ~1.5 K kälter als RO bis Feb. 2006 (dann ~0.5 K)



Tropopausen-Trends?







Inhomogenitäten würden zu falschen Ergebnissen führen.

Tropopausen-Trends sind ein guter Indikator für den Klimawandel



Tropische Tropopause



ECMWF Tropische Tropopausen-Temperaturen waren bis Feb. 2006 zu kalt (um 1 – 2 K)

Systematische Differenzen sind mit dem neuen ECMWF Modell praktisch verschwunden

Durch mehr Variabilität in der ECMWF Tropopausen-Höhe

Das mittlere ECMWF Profil ist dadurch glatter, das Temp.-Minimum weniger stark ausgeprägt