

Klima-Monitoring mit Radio-Okkultationsdaten des Satelliten CHAMP

Ulrich Foelsche, Michael Borsche, Andrea K. Steiner, Armin Löscher, Barbara Pirscher, Bettina C. Lackner und Gottfried Kirchengast

Wegener Center für Klima und Globalen Wandel (WegCenter) und

Institut für Geophysik, Astrophysik und Meteorologie (IGAM), Kar-Franzens-Universität Graz, Österreich.

Projektleiter: Univ.-Prof. Dr. Gottfried Kirchengast
Tel.: +43 316 380 5260
e-mail: gottfried.kirchengast@uni-graz.at

Projektmanager : Dr. Ulrich Foelsche
Tel.: +43 316 380 8590
e-mail: ulrich.foelsche@uni-graz.at

Klima-Monitoring mit Radio-Okkultationsdaten

Die Bereitstellung genauer, langzeit-stabiler Messdaten wurde vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) im Report des Jahres 2001 als eine der Aktionen höchster Priorität für die zukünftige Klimabeobachtung definiert. Bis jetzt war es nicht möglich, Trends in der Atmosphärentemperatur mit Satellitendaten in überzeugender Genauigkeit zu bestimmen. Radio-Okkultationsdaten (RO), die mittels Signalen von Navigationssatelliten (GNSS – Global Navigation Satellite System) gewonnen werden, haben das Potential, die Probleme traditioneller Datenquellen zu lösen. Die besondere Eignung für die Klimabeobachtung resultiert aus der einzigartigen Kombination aus hoher Genauigkeit, hoher vertikaler Auflösung, Langzeit-Stabilität, globaler Bedeckung und Allwetter-Tauglichkeit. Die Eignung zur Klimabeobachtung wurde durch Simulationsstudien und klimatologische Analysen echter Daten nachgewiesen.

Die Grundlage der Radio-Okkultationsmethode sind Signale von GNSS (Global Navigation Satellite System) Satelliten, die von einem Satelliten in niedriger Umlaufbahn (Low Earth Orbit, LEO) empfangen werden, nachdem sie die Atmosphäre der Erde durchquert haben und dabei verdunkelt („okkultiert“) wurden. In Okkultationsgeometrie durchqueren die Radiosignale kurz vor dem Untergang eines GNSS Satelliten immer dichtere Atmosphärenschichten und werden dabei entsprechend den Brechungseigenschaften der Atmosphäre gebrochen und verlangsamt. Aus der gemessenen Phasenwegverlängerung werden Profile fundamentaler atmosphärischer Parameter wie Dichte, Druck, Temperatur und Wasserdampf berechnet.

Die vertikale Auflösung beträgt in der Nähe der Erdoberfläche etwa 0.5 km und in der Stratosphäre etwa 1 km bis 1.5 km. Die größten Genauigkeiten (z.B. monatliche Temperaturmittel besser als 0.2°C) werden in Höhen zwischen 8 km und 30 km erzielt, also genau dort, wo ausgehend von Klimamodell-Rechnungen in den nächsten Jahrzehnten besonders große Temperaturänderungen zu erwarten sind. Durch die direkte Ableitung von Phasenwegmessungen aus einem äußerst präzisen Zeitnormal (Atomuhren bzw. Wasserstoff-Maser auf GPS Satelliten der neuesten Generation, ultrastabile Quarz-Oszillatoren auf LEO Satelliten) liefert die Radio-Okkultation selbstkalibrierte langzeit-stabile Messwerte. Gerade dieser Punkt ist für die Überwachung des Klimawandels von besonderer Bedeutung.

Das CHAMPCLIM Projekt

CHAMPCLIM ist ein Projekt zur Erforschung von Atmosphäre und Klima unserer Erde durch Beobachtung von Temperatur, Refraktivität und Druckschichtung in der globalen Atmosphäre mit Hilfe der Radio-Okkultationsmethode. Finanziert wird das Projekt im Rahmen des Austrian Space Applications Programme (ASAP). Das konkrete verwendete Satellitenexperiment ist CHAMP/GPS (Foelsche et al., 2003).

Der deutsche Forschungs-Satellit CHAMP wurde im Juli 2000 in eine niedrige Erdumlaufbahn gestartet. Das Radio-Okkultationsexperiment, das Signale von Global Positioning System (GPS) Satelliten verwendet, wurde erstmals im Frühjahr 2001 aktiviert. Seit Dezember 2001, also seit mehr als 4 Jahren, liefert CHAMP als erster Satellit überhaupt kontinuierlich Radio-Okkultationsdaten, die diese Art der Klimabeobachtung nun erstmals über längere Zeit möglich machen. Von den etwa 230 Okkultationsprofilen, die CHAMP pro Tag empfängt, können im Schnitt etwa 150 erfolgreich in Profile atmosphärischer Parameter umgerechnet werden, die den hohen Qualitätsstandards genügen. Die Lebensdauer des Satelliten sollte nach derzeitigen Prognosen mindestens bis ins Jahr 2007 reichen. Enge Kooperation mit dem deutschen GeoForschungsZentrum (GFZ) in Potsdam, das den CHAMP-Satelliten betreibt, ermöglicht dem Projektteam am Wegener Center für Klima und Globalen Wandel der Universität Graz Zugriff auf den kompletten Satz der wertvollen Daten.

Ergebnisse

Das gesamte Wegener Center Prozessierungssystem läuft stabil und liefert Ergebnisse deren Qualität sich — trotz geringerem Einsatz von Vorinformations-Daten — mit der Qualität der Produkte anderer international führender einschlägiger Forschungsgruppen messen kann bzw. diese durch die sorgfältige klimatologische Aufbereitung auch übertrifft (Borsche et al., 2006).

Der Vergleich mit Analysen des Europäischen Zentrums für Mittelfrist-Wettervorhersage (EZMW), die Daten aller herkömmlichen Beobachtungssysteme enthalten, beweist die hohe Qualität der CHAMP Daten, vor allem im Höhenbereich zwischen etwa 8 km und 30 km. Darüber hinaus zeigen insbesondere die Ergebnisse der Sommersaisonen (2002 bis 2005), dass CHAMP Daten in Zukunft einen wertvollen Beitrag zur Verbesserung von EZMW Analysen leisten können, vor allem dort, wo die Dichte der herkömmlichen Daten gering ist. Besonders deutlich ist dieser Umstand im Bereich des antarktischen polaren Wirbels ("Polar Vortex") und in der tropischen Tropopausen-Region (siehe Abb. 1). Ein genauere Darstellung findet sich in Gobiet et al. (2005) und Foelsche et al. (2006).

Durch eine eingehende Untersuchung der Fehlerstruktur von Radio-Okkultationsdaten ist es weiters gelungen, zusätzlich zu den CHAMP Klimatologien auch eine realistische Abschätzung der zu erwartenden Fehler bereitzustellen, und damit den Wert dieser Produkte weiter zu erhöhen.

Insgesamt ist dank CHAMPCLIM und darauf aufbauender Projekte das Wegener Center in Graz auf gutem Weg einen neuen bisher nicht erreichten Qualitätsstandard im Klimawandel-Monitoring der globalen Atmosphäre einzuführen.

Informationen über das Wegener Center findet man unter:

<http://www.wegcenter.at>

Informationen über Forschungsaktivitäten des IGAM sind unter

<http://www.uni-graz.ac.at/igam> zu finden.

Die Homepage der Arbeitsgruppe Atmosphärenfernerkundung und Klimasystem ist:

<http://www.uni-graz.at/igam-arsclisys>

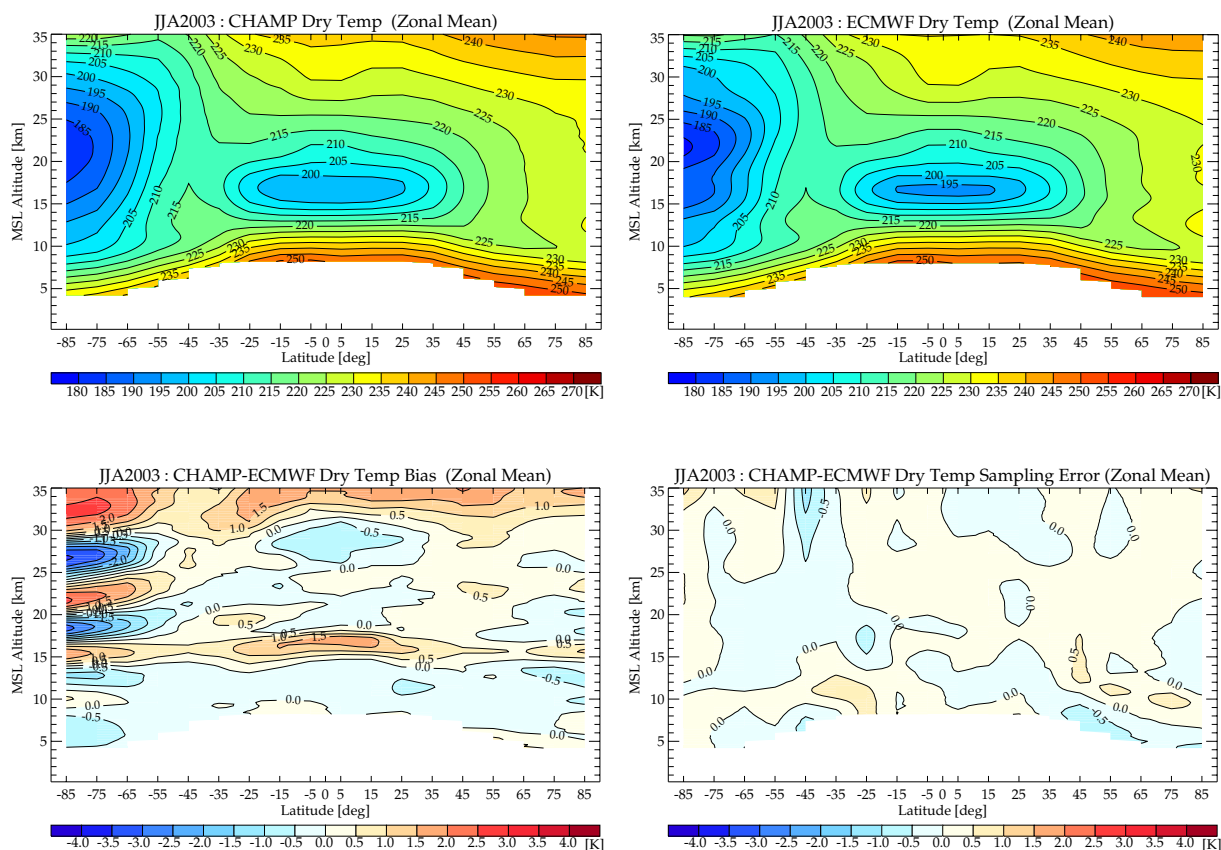


Abb. 1. Zonal gemittelte Temperaturfelder für die Sommersaison (Juni-Juli-August) 2003: Oben: CHAMP (links) und EZMW (rechts); unten: systematischer Unterschied (links) und Abtastfehler der CHAMP Klimatologie (rechts).

Literatur

- Borsche, M.,** A. Gobiet, A.K. Steiner, U. Foelsche, G. Kirchengast, T. Schmidt, and J. Wickert, Pre-Operational Retrieval of Radio Occultation based Climatologies, in: *Atmosphere and Climate: Studies by Occultation Methods* (U. Foelsche, G. Kirchengast, A.K. Steiner, eds.), Springer, Berlin-Heidelberg, in press, 2006a.
- Foelsche, U.,** G. Kirchengast, and A.K. Steiner, Global climate monitoring based on CHAMP/GPS radio occultation data, in *First CHAMP Mission Results for Gravity, Magnetic and Atmospheric Studies*, (C. Reigber et al., eds.), Springer, Berlin-Heidelberg, 397–407, 2003.
- Foelsche, U.,** A. Gobiet, A.K. Steiner, G. Kirchengast, M. Borsche, T. Schmidt, and J. Wickert Global Climatologies Based on Radio Occultation Data: The CHAMPCLIM Project, in: *Atmosphere and Climate: Studies by Occultation Methods* (U. Foelsche, G. Kirchengast, A.K. Steiner, eds.), Springer, Berlin-Heidelberg, in press 2006.
- Gobiet, A.,** U. Foelsche, A.K. Steiner, M. Borsche, G. Kirchengast, and J. Wickert, Climatological validation of stratospheric temperatures in ECMWF operational analyses with CHAMP radio occultation data, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L12806, doi:10.1029/2005GL022617, 2005b.

Danksagung

Unser Dank gilt dem Geoforschungszentrum Potsdam und insbesondere Dr. Jens Wickert für die Bereitstellung der CHAMP Rohdaten, sowie dem Europäischen Zentrum für Mittelfrist-Wettervorhersage für die Bereitstellung von Analysedaten. Die Arbeit wurde von der Agentur für Luft- und Raumfahrt der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft finanziell unterstützt.