

## **Bodengebundene Mikrowellenradiometer zur Atmosphärensondierung in der Vorhersage: Fehlermodell, Kalibration, Rauschanalyse, Qualitätskontrolle und Datenformate**

Harald Czekala (1), Gerrit Maschwitz (1), Emiliano Orlandi (1), Thomas Rose (1), Ulrich Löhnert (2), Susanne Crewell (2), Domenico Cimini (3), and Francesco de Angelis (3)

(1) RPG Radiometer Physics GmbH, Meckenheim, Germany, (2) Institute for Geophysics and Meteorology, University of Cologne, Germany, (3) CNR-IMAA, Potenza, and CETEMPS, L'Aquila, Italy

Die Assimilation von Helligkeitstemperaturen (TB) der polarumlaufenden Mikrowellenradiometer ist seit langem etablierter Stand der Technik in der numerischen Wettervorhersage. Die Temperatur- und Feuchteprofilierung mit bodengebundenen Radiometern dagegen wird bisher noch nicht operationell eingesetzt. Die Gründe dafür sind vor allem die fehlenden Methoden, die fehlenden Netzwerke solcher Instrumente und die niedrigere vertikale Auflösung der Radiometer gegenüber den Wetterballons.

Die Mikrowellenradiometer auf Satellitenplattformen werden mit hohen Kosten zu Einzelstücken mit maximaler Zuverlässigkeit und Genauigkeit entwickelt. Im Gegensatz dazu müssen Radiometer für Bodennetzwerke in höherer Stückzahl zu einem ungleich günstigeren Preis verfügbar sein, um eine realistische Anwendungsperspektive zu bieten. Gleichzeitig sind die Anforderungen an die Wetterfestigkeit und Genauigkeit nicht weniger komplex als bei Weltraumanwendungen.

In der vergangenen Dekade haben die Mikrowellenradiometer eine Entwicklung von experimentellen Instrumenten weg und hin zu einer stabilen und hochpräzisen Technologie durchlaufen. Mit neuartigen Empfängertechnologien und Kalibrationsverfahren (sowohl Primärkalibrationen als auch automatische interne Kalibrationen) erreichen moderne Radiometer in Frequenzbereichen von 20 GHz bis 60 GHz und einer Integrationszeit von einer Sekunde eine Präzision der Strahlungstemperatur (TB) von 0,15 K bis 0,05 K (durch weitere 10 s Integration sogar bis 0,02 K). Die absoluten Fehler der TB hängen entscheidend von der Genauigkeit der primären (absoluten) Kalibration ab, die aus Mangel an Eichstandards durch fundamentale physikalische Prinzipien erreicht werden muss. Verbesserte Verfahren ermöglichen jetzt Kalibrationen mit weniger als 0,15 K absolutem Fehler.

Der Effekt der verbesserten Genauigkeit (wohl absolut, als auch relativ) im Vergleich der Vorgänger-Generation von Radiometern erhöht den Informationsgehalt der vertikalen Profile von Temperatur und Feuchte um jeweils etwa einen Freiheitsgrad. Die Vertikalauflösung bleibt damit zwar immer noch unter den Möglichkeiten der Radiosonden, aber die zeitliche Auflösung liegt im Minutenbereich und passt damit wesentlich besser zu den Anforderungen der heutigen hochaufgelösten Modellgitter. Weiterhin lassen sich auch die Probleme von Ballon-Drift und Aufstiegszeit innerhalb der Troposphäre effektiv verhindern.

Mikrowellenradiometer können so mit der allwettertauglichen Beobachtung insbesondere der Grenzschicht eine Beobachtungslücke schließen, die sich aus den Nachteilen der Wetterballons und der prinzipiellen Limitierung der Satellitenbeobachtung in Bodennähe ergibt. Für eine praktische Verwendung in der direkten Assimilation der Mikrowellen-TB ist es notwendig, dass die Wettermodelle den Vorwärtsoperator, das Fehlermodell und die individuelle Fehler-Charakterisierung der verwendeten Mikrowellenradiometer kennen. Für den Vorwärtsoperator wurde das bei Satellitendaten zur Anwendung kommenden RTTOV Strahlungstransportmodell um eine bodengebundene Messgeometrie („RTTOV-gb“) erweitert, so dass die TB Daten von bodengebundenen Mikrowellenradiometern nun in gleicher Weise wie Satellitendaten verwendet werden können.

Die Charakterisierung der TB-Messdaten erfolgt durch ein NetCDF Datenformat, das innerhalb der CF-Richtlinien („Climate and Forecast Center“) neben den TB Daten einen vollständigen Block von Metadaten bereitstellt. Die darin enthaltenen Angaben über die Fehlerbudgets, Kovarianz-Matrizen der Mehrkanalempfänger, Kalibrationszustand des Gerätes und eine automatische Qualitätskontrolle erlauben eine Verwendung der Daten vollkommen analog zu den satellitengestützten Mikrowellenradiometern.