

## 10 Jahre Mikrowellenprofiler am Observatorium Lindenberg

### *Erfolgreiche Bilanz einer Methode zur kontinuierlichen Beobachtung von Temperatur-, Feuchte- und Flüssigwasserprofilen*

Jürgen Güldner, MOL-RAO, 13.01.2009

Weltweit wächst das Interesse an einer kontinuierlichen Beobachtung atmosphärischer Parameter und ihrer vertikalen Verteilung. Sie bilden die Grundlage für ein besseres Verständnis der physikalischen und chemischen Prozesse der Atmosphäre und sind somit Voraussetzung zur Erfüllung der Kernaufgaben von Wetterdiensten auf den Gebieten der Wettervorhersage und der Klimaforschung. Eine Vielzahl von Verfahren wurde entwickelt, um dieses Ziel zu erreichen. Dazu zählen neben direkten Messverfahren sowohl aktive und passive bodengebundene Fernerkundungsverfahren als auch die satellitengestützte indirekte Sondierung. Alle Methoden haben Vor- und Nachteile und leisten ihren spezifischen Beitrag, um ein möglichst umfassendes Abbild des atmosphärischen Zustandes zu beschreiben.

Die bodengebundene Mikrowellenradiometrie zählt zu den passiven Verfahren, d.h. es wird kein Signal gesendet sondern es werden nur die Informationen empfangen, die die Atmosphäre in Form elektromagnetischer Wellen aussendet. Da die Strahldichte in verschiedenen Spektralintervallen gemessen wird, sind mit Hilfe mathematischer Verfahren höhenabhängige Informationen ableitbar.

Um die Möglichkeiten von bodengebundenen Fernerkundungsverfahren im Mikrowellenbereich zu erkunden und ihre Einsatzmöglichkeiten zu analysieren, wurde im November 1998 am Meteorologischen Observatorium Lindenberg ein Mikrowellenprofiler TP/WVP 3001 von Radiometrics in Betrieb genommen (Abb 1). Es war zu dieser Zeit der weltweit erste Mikrowellen-Radiometer-Profiler (MWP), der für einen kontinuierlichen Betrieb eingesetzt - und im Rückblick auf die vergangenen 10 Jahre - erfolgreich getestet wurde.

Der MWP misst die emittierte Strahlung der Atmosphäre bei 5 Frequenzen im Bereich der 22 GHz Spektrallinie des Wasserdampfes zur Bestimmung von Feuchteprofilen und Flüssigwasserinformationen sowie in 7 weiteren Kanälen entlang der Sauerstoffbande zwischen 52 und 59 GHz zur Ableitung der vertikalen Temperaturverteilung. Zusätzlich werden in jedem Zyklus Temperatur und Feuchte in Radiometerhöhe sowie mit einem Infrarotpyrometer die Temperatur der Wolkenuntergrenze gemessen. Mittels eines neuronalen Netzes bzw. durch multiple Regressionsverfahren werden Temperatur(T)- und Feuchteprofile(H) sowie vertikale Flüssigwasserstrukturen (LW) abgeleitet. Daraus kann auch der Gesamtgehalt von Wasserdampf (IWW) und Flüssigwasser (LWP) berechnet werden. Die Vertikalprofile werden bis zu einer Höhe von 10 km bestimmt, wobei mit der Höhe der Informationsgehalt abnimmt und somit die Genauigkeit in den unteren 2-3 km am höchsten ist.

Im Unterschied zu anderen Beobachtungsinstrumenten weisen Mikrowellenprofiler noch folgende Besonderheiten auf:

- Ein MWP stellt T-, H- und LW- Profile mit hoher zeitlicher Auflösung bereit und liefert somit Beobachtungen von 3 prognostischen Variablen, die in numerischen Wettervorhersagemodellen benötigt werden. Die MW-Spektren als Informationsquelle des atmosphärischen Zustandes werden innerhalb von ca. 20 Sekunden gemessen. Damit sind die abgeleiteten Vertikalprofile Ergebnisse von konsistenten Messungen eines einheitlichen Atmosphärenausschnittes über dem Radiometer. Im Gegensatz zu direkten Messungen, wie z.B. von Radiosonden, sind die

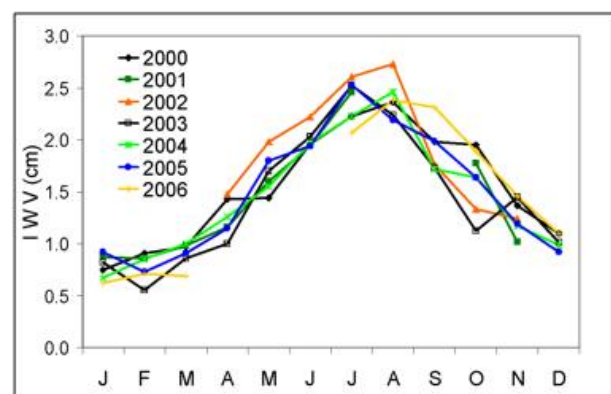


**Abb 1:** Mikrowellenprofiler am Observatorium Lindenberg, November 1998

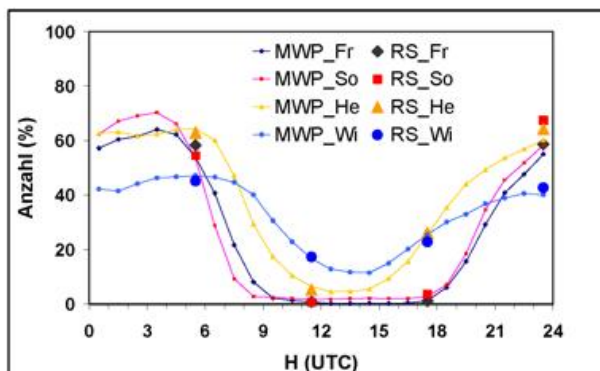
Profile, physikalisch bedingt, Ergebnisse von vertikal glättenden Verfahren, was dazu führt, dass Sprünge bzw. Änderungen von geringer vertikaler Ausdehnung gedämpft abgebildet werden.

- Die Beobachtungen des MWP sind Emissionsmessungen (Strahldichte) der Atmosphäre. D.h., im Gegensatz zu Absorptionsmessungen, die eine nicht durch Wolken bedeckte Strahlungsquelle im Hintergrund (Sonne, Mond, Sterne) benötigen, stehen die Ergebnisse unabhängig von der Tageszeit, von der Bewölkung und für beliebige Messrichtungen zur Verfügung.
- MWP sind in der Lage durch Wolken "hindurch zu sehen" und damit auch Parameter abzuleiten, die oberhalb der Wolkenuntergrenze liegen, was mit Verfahren, die auf Messungen im Infrarot- bzw. sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums basieren, nicht möglich ist. Die unterschiedliche Beeinflussung einzelner Spektralkanäle ermöglicht jedoch die Berechnung des Flüssigwassergehalts der Wolken. MWP sind "Allwettergeräte", die automatisch Information über Vertikalprofile bereitstellen, mit geringem Wartungsaufwand und niedrigen Betriebskosten.

Im Verlauf der vergangenen 10 Jahre hat sich der MWP zu einem substantiellen Bestandteil der "Lindenberger Säule" entwickelt und konnte durch technische Änderungen des Herstellers qualitativ verbessert werden. Weiterhin erhöhte sich sowohl die zeitliche Auflösung von anfänglich 8 auf 1 Minute als auch die Verfügbarkeitsrate. So trug z.B. die Verwendung eines hydrophoben Radoms dazu bei, dass die durch Niederschlag verursachte Abtrocknungszeit auf ein Minimum reduziert wird und auch bei leichtem Niederschlag Informationen über den Zustand der Atmosphäre bereitgestellt werden können. Die Arbeiten am Observatorium waren u.a. darauf gerichtet, Methoden zur Qualitätskontrolle und Korrekturverfahren zu entwickeln, regelmäßige Genauigkeitsanalysen durchzuführen und durch Vergleiche mit anderen Messungen, Einsichten in Möglichkeiten und Grenzen von Mikrowellenmessungen zu gewinnen. Diese Gegenüberstellungen unter Einbeziehung der Modellvorhersagen von COSMO-EU werden täglich bzw. stündlich aktualisiert im Internet dargestellt<sup>1</sup> und belegen die Eignung des MWP für Aufgaben zur "Überwachung der Atmosphäre".



**Abb 2:** Monatsmittelwerte des integrierten Wasserdampfgehalts (IWV) in Lindenberg (2000-2006), abgeleitet aus Messungen des Mikrowellenprofilers



**Abb 3:** Anteil positiver Temperaturgradienten (300m - 0m) im Zeitraum 2000-2006 für vier Jahreszeiten (Fr, So, He, Wi), gemessen mit dem MWP im Vergleich zu Radiosondenmessungen

Als Ergebnis stehen kontinuierliche Datenreihen seit 1998 zur Verfügung, die nur von vier Perioden für Reparatur, externem Messeinsatz bzw. Modernisierung unterbrochen wurden. Die hohe zeitliche Auflösung der Profile eröffnet auch neue Einsatzmöglichkeiten für das Klimamonitoring. Exemplarisch sind für den Zeitraum von 2000 bis 2006 Monatsmittelwerte des Gesamtwasserdampfgehalts in Abb.2 sowie Aussagen über Temperaturinversionen in 300 m Höhe über dem Radiometer dargestellt (Abb.3). Vergleichbare T, H, LW - Informationen können gegenwärtig von keinem anderen Beobachtungsinstrument in dieser Kontinuität und Komplexität mit vertretbarem Aufwand bereitgestellt werden.

<sup>1</sup> <http://www.dwd.de/mol> --> Bodengebundene Fernerkundung --> Mikrowellenradiometer --> aktuelle Messungen