

Der Lindenerger Methodenvergleich in der freien Atmosphäre (LUAMI Kampagne)

Franz Immler, Dirk Engelbart & Holger Vömel, Lindenberg

Eine wichtige Aufgabenstellung des Richard-Aßmann-Observatoriums ist die Untersuchung und Verbesserung von Messmethoden für die grundlegenden physikalischen Variablen der Atmosphäre (Druck, Temperatur, Feuchte, Wind, Wolkeneigenschaften). Um die systematischen und statistischen Abweichungen verschiedener Messverfahren für die höhere Atmosphäre zu untersuchen, wurde Ende 2008 in Lindenberg eine Messkampagne durchgeführt, bei der zahlreiche Instrumente eingesetzt und miteinander verglichen wurden. Ziel war es, die Tauglichkeit der einzelnen Messsysteme für den Betrieb in operationellen Beobachtungsnetzen zu testen (u.a. GRUAN, näheres siehe: www.GRUAN.org), sowie einen detaillierten Datensatz für das Studium klimarelevanter Prozesse in der Atmosphäre bereitzustellen.

Die Kampagne wurde unter dem Dach der WMO als Aktivität der CIMO sowie des GRUAN-Lead-Centers Lindenberg organisiert und durchgeführt. Auch die beiden neuen COST Aktionen WAVACS („*Water vapour in the climate system*“) und EG-CLIMET „*European Ground-based observations of essential variables for CLimate and operational METeorology*“), an denen der DWD über das MOL-RAO beteiligt ist, waren in die Messkampagne eingebunden.

Im Zusammenhang mit LUAMI fanden zunächst am 17.10. und 18.10.2008 Überflüge durch das Forschungsflugzeug Falcon des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) aus Oberpfaffenhofen statt, das mit dem nach unten blickenden Wasserdampf-Differential-Absorptions-Lidar WALES ausgerüstet war. Es hatte die Aufgabe eine Vergleichsmessung mit dem DWD-Referenzsystem RAMSES für troposphärischen Wasserdampf am Observatorium Lindenberg durchzuführen. Mit demselben Ziel hatte die Falcon nach ihrem Start in Oberpfaffenhofen bereits die Observatorien in Payerne (CH) und Cabauw (NL), sowie das Wasserdampf-DIAL am Schneefernerhaus an der Zugspitze überflogen. Kurz vor Erreichen des Standortes Lindenberg etwa gegen 20:00 Uhr (MESZ) war von dort ein Ballon mit verschiedenen Radiosonden, darunter ein Frostpunkthygrometer (CFH), gestartet worden. Die Falcon folgte über einen längeren Zeitraum der vorhergesagten Flugbahn des Ballons, so dass ideale Bedingungen für einen Vergleich mit den In-situ-Messsystemen gegeben waren. Erste Ergebnisse zeigen eine sehr gute Übereinstimmung dieser unterschiedlichen Verfahren zur Bestimmung des Wasserdampfes (Abbildung 2).

In der Zeit vom 4. bis 22.11.2008 fand die intensive Vergleichskampagne für Radiosonden und bodengebundene Fernmessverfahren in Lindenberg statt. Ein Schwerpunkt dieser Aktivität lag darauf, neuartige Systeme (z.B. Doppler-Lidarsysteme und Ceilometer), im Vergleich mit bekannten Referenzverfahren, zu bewerten. Des Weiteren wurden etablierte Fernerkundungsmethoden wie Mikrowellenradiometer, GPS-Empfänger und Lidar mit ballongetragenen In-situ-Messungen verglichen. Neben den Fernerkundungssystemen des MOL-RAO (Radar, Lidar, Mikrowellenradiometer, etc.) kamen zusätzliche GPS-Empfänger des GFZ Potsdam sowie Lidar-Systeme der Firmen Leosphere (FR) und Jenoptik (D) zum Einsatz. Noch bis Anfang Dezember wurden ein europaweites Netz von Mikrowellen-Radiometern sowie ein kleinskaliges Netz zur GPS-Tomo-



Abbildung 1: Ballon mit verschiedenen Radiosonden kurz nach dem Start

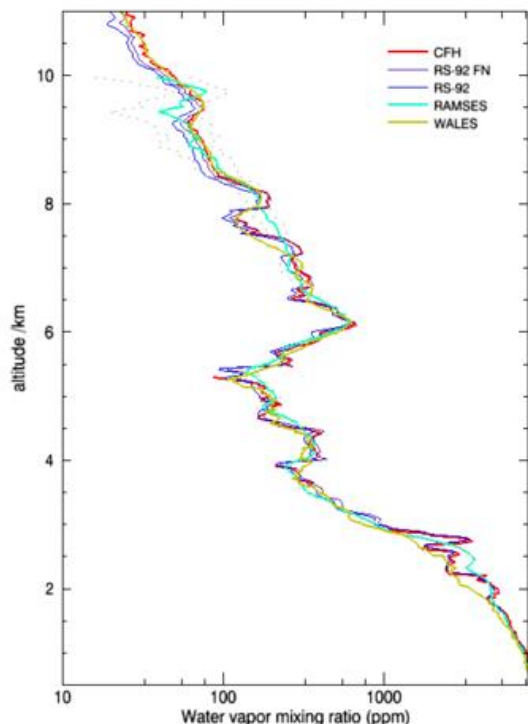


Abbildung 2: Vergleich von Feuchte-Profilen die in-situ, sowie vom Boden und von einem Flugzeug aus mit Fernerkundungsmethoden gemessen wurden.

das entsprechend der Umgebungsbedingungen Wasserdampf aufnimmt und dabei seine elektrische Kapazität ändert. Diese Änderungen können leicht mittels eines elektrischen Schwingkreises gemessen werden. Die Referenz-Instrumente hingegen verwenden entweder einen Frostpunktspiegel (CFH 'Cryogenic Frostpoint Hygrometer', SnowWhite) oder das Lyman- α -Verfahren (FLASH), das die Fluoreszenz von optisch angeregten Molekülen detektiert. Einen Vergleich von Lidar-Fernmessung sowie einiger Routine- und Referenz-Radiosondierungen zum Zeitpunkt des Falcon-DIAL-Überflugs zeigt Abbildung 2.

Erste detailliertere Auswertungen der Daten ergaben, dass in der oberen Troposphäre insbesondere tagsüber die meisten Sonden zu geringe Luftfeuchten messen, wenn man die Messergebnisse der CFH-Sonde als Referenz zu Grunde legt. Grund dafür ist der Strahlungsfehler, der in der Regel nicht korrigiert wird. Auch die Temperatur-Daten liegen trotz Strahlungskorrektur in großer Höhe um bis zu 1 K auseinander. In der Troposphäre liegen die Abweichungen bei einigen Zehntel Grad.

In der Stratosphäre stimmten die Messergebnisse von CFH und der optischen FLASH-Sonde bezüglich Wasserdampf sehr gut überein. Daraus ergibt sich ein hohes Maß an Vertrauen in diese beiden Messverfahren für die Stratosphäre. Ebenso gut sah der Vergleich von CFH mit dem Flugzeug-getragenen Lidar der DLR (WALES) und dem Lindenerger Lidar RAMSES in der Troposphäre aus (Abbildung 2). Diese Messverfahren können daher als Transferstandards für die Kalibrierung und Validierung anderer Methoden angesehen werden.

Tabelle 1: Aufstellung der während LUAMI verfliegenen Radiosonden.

Abkürzungen: WV:Wasserdampf, PTUW: Druck, Temperatur, Feuchte, Wind

Sonde	CFH	SW	FLASH	COBALD	APS	ECC	RS92FN	RS90FN	RS92	SRS	DFM-06	BAT-4G
Operator	DWD	Meteo-labor	CAO/DWD	ETH	Vaisala		DWD	DWD	DWD	Meteo-labor	Graw	Intermet
Gewicht / g	990	550	980	500	600	500	380	380	280	620	90	200
Telemetrie Radiosonde	RS80	SRS	RS80/92	SRS	RS92	RS92						
Variable	WV	WV	WV	Wolken	WV	Ozon	PTUW	PTUW	PTUW	PTUW	PTUW	PTUW
Anzahl	6	21	4	7	12	8	9	7	27	29	24	25

graphie betrieben, mit dessen Hilfe die dreidimensionale Verteilung des Wasserdampfes in der Atmosphäre gemessen werden kann.

Einen weiteren Schwerpunkt bildete der Vergleich verschiedener Ballon-getragener Instrumente untereinander mit besonderem Augenmerk auf der Wasserdampfmessung. Dabei waren Wissenschaftler und Techniker der ETH Zürich und von MeteoSchweiz, des Zentralen Aerologischen Observatoriums (CAO) in Russland sowie der Firmen Meteolabor (CH), Vaisala (FI) und Graw (D) mit Ihren Instrumenten beteiligt (Tabelle 1). Um die Profile unter möglichst identischen Bedingungen messen zu können wurden bis zu sechs Radiosonden an einem Gestänge befestigt, das von einem Ballon bis in eine Höhe von 30 km getragen wurde (Abb. 1). Während der Kampagne wurden 30 solcher Gespanne erfolgreich gestartet, in der Regel an jedem Tag je eines zum 00 UTC und zum 12 UTC Termin. In vier Fällen wurden zwei Gespanne gleichzeitig gestartet (mit einigen Minuten Zeitversatz), wobei das Raman-Wasserdampf-Lidarsystem RAMSES für die Nachtaufstiege als Referenz herangezogen werden konnte.

Die meisten kommerziell erhältlichen Radiosonden messen den Wasserdampf mit Hilfe eines Polymers,

das entsprechend der Umgebungsbedingungen Wasserdampf aufnimmt und dabei seine elektrische Kapazität ändert. Diese Änderungen können leicht mittels eines elektrischen Schwingkreises gemessen werden. Die Referenz-Instrumente hingegen verwenden entweder einen Frostpunktspiegel (CFH 'Cryogenic Frostpoint Hygrometer', SnowWhite) oder das Lyman- α -Verfahren (FLASH), das die Fluoreszenz von optisch angeregten Molekülen detektiert. Einen Vergleich von Lidar-Fernmessung sowie einiger Routine- und Referenz-Radiosondierungen zum Zeitpunkt des Falcon-DIAL-Überflugs zeigt Abbildung 2.

Erste detailliertere Auswertungen der Daten ergaben, dass in der oberen Troposphäre insbesondere tagsüber die meisten Sonden zu geringe Luftfeuchten messen, wenn man die Messergebnisse der CFH-Sonde als Referenz zu Grunde legt. Grund dafür ist der Strahlungsfehler, der in der Regel nicht korrigiert wird. Auch die Temperatur-Daten liegen trotz Strahlungskorrektur in großer Höhe um bis zu 1 K auseinander. In der Troposphäre liegen die Abweichungen bei einigen Zehntel Grad.

In der Stratosphäre stimmten die Messergebnisse von CFH und der optischen FLASH-Sonde bezüglich Wasserdampf sehr gut überein. Daraus ergibt sich ein hohes Maß an Vertrauen in diese beiden Messverfahren für die Stratosphäre. Ebenso gut sah der Vergleich von CFH mit dem Flugzeug-getragenen Lidar der DLR (WALES) und dem Lindenerger Lidar RAMSES in der Troposphäre aus (Abbildung 2). Diese Messverfahren können daher als Transferstandards für die Kalibrierung und Validierung anderer Methoden angesehen werden.