

Abstract

Regarding weather and climate, water vapor is one of the most important atmospheric constituents. A precise knowledge of its highly variable distribution is therefore crucial for many applications such as climate monitoring or weather prediction. Water vapor lidars are the only instruments that can deliver continuous measurements of humidity profiles of high spatial and temporal resolution. As opposed to the Raman method, differential absorption lidar (DIAL) offers the advantages of good daytime performance and self-calibration.

In the course of this work, measurements were collected with an existing alexandrite laser based DIAL system during several field experiments. Among them was the Nauru99 campaign where a water vapor DIAL system was operated on board a ship for the first time. The data from the various campaigns yielded many interesting results, for example the confirmation of the development of an internal thermal boundary layer over the island of Nauru.

It became apparent however, that the quality of the measured data was not satisfactory. During the postprocessing of the data, many sources of systematic errors could be identified and partly eliminated. Such sources were errors in the calculation of the water vapor absorption cross section, errors in the determination of the signal baseline, and errors caused by an insufficient spectral quality of the emitted laser pulses.

Because of the quality problems, the high level of maintenance, and the large space and energy requirements associated with the old system, a new laser system was constructed. The best concept was found to be an injection seeded, gain-switched Ti:Sa ring laser. This new laser operates in the 820 nm wavelength region at a repetition rate of 50 Hz. Special features are the newly developed active stabilization scheme, the continuous monitoring of crucial parameters on a single shot basis, and the fact that no optical elements inside the laser cavity are needed, except the laser crystal itself. Achieved performance parameters are: pulse energy of 15 mJ, spectral purity of 99.97 %, and shot-to-shot energy fluctuations of 1.6 %.

A preliminary DIAL system was constructed based on the new laser system and tested extensively during a field experiment in May/June 2003 at the German Weather Service's Lindenberg Observatory. The laser performance and the quality of the measured data were very satisfactory. Uninterrupted operation of up to 11.5 h could be achieved.

Zusammenfassung

Wasserdampf stellt in Bezug auf Wetter und Klima einen der wichtigsten Bestandteile der Atmosphäre dar. Die genaue Kenntnis der hochvariablen Verteilung von Wasserdampf ist deshalb für viele Anwendungen, wie z.B. Klima-Beobachtungen und Wettervorhersage von großer Bedeutung. Lidar-Systeme sind die einzigen Instrumente, die kontinuierliche Messungen von zeitlich und räumlich hoch aufgelösten Feuchte-Profilen liefern können. Im Gegensatz zur Raman-Methode bietet differentiell absorptions-Lidar (DIAL) die Vorteile, dass es zum einen auch bei Tag gute Ergebnisse liefert und zum anderen selbst-kalibrierend ist.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden mit einem bereits existierenden, auf einem Alexandrit-Laser aufbauenden DIAL-System Messungen im Rahmen mehrerer Feldexperimente getätigt. Eines davon war die Nauru99-Kampagne, während der erstmalig Wasserdampf-DIAL Messungen an Bord eines Schiffes durchgeführt wurden. Die verschiedenen Kampagnen erbrachten viele interessante Ergebnisse, z. B. konnte die Bildung einer internen konvektiven Grenzschicht über der Insel Nauru bestätigt werden.

Es zeigte sich jedoch, dass die Qualität der Messungen nicht zufriedenstellend war. Während der Nachbereitung der Daten konnten mehrere Quellen für systematische Fehler identifiziert und zum Teil ausgeräumt werden. Es waren dies Fehler bei der Berechnung des Wasserdampf-Absorptionsquerschnittes, Fehler bei der Bestimmung des Signal-Untergrundes und Fehler, die durch ungenügende spektrale Eigenschaften der Laserpulse verursacht waren.

Aufgrund der Qualitätsprobleme, die mit dem alten DIAL-System verbunden sind, und aufgrund seines hohen Wartungs-, Energie-, und Platzbedarfes wurde ein neues Laser-System aufgebaut. Als bestes Konzept erwies sich ein Ti:Sa-Ringlaser mit Injection Seeding und Gain-switching. Dieser neue Laser arbeitet bei einer Wellenlänge um 820 nm und einer Repetitionsrate von 50 Hz. Technische Besonderheiten sind die neu entwickelte Technik zur aktiven Stabilisierung, die kontinuierliche Aufzeichnung wichtiger Parameter im Einzelschuss und die Tatsache, dass außer dem Laserkristall keine zusätzlichen optische Elemente innerhalb des Laser-Resonators benötigt werden. Erreichte Leistungsdaten sind eine Pulsenergie von 15 mJ, eine spektrale Reinheit von 99.97 % und Puls-zu-Puls Energieschwankungen von 1.6 %.

Basierend auf dem neuen Lasersystem wurde ein vorläufiger DIAL-Messaufbau realisiert, der im Mai/Juni 2003 bei einem Feldexperiment am Meteorologischen Observatorium Lindenberg des Deutschen Wetterdienstes ausgiebig getestet wurde. Der Laser arbeitete sehr gut und auch die Qualität der gemessenen Daten war sehr zufriedenstellend. Es gelangen ununterbrochene Messungen von bis zu 11.5 h Dauer.