

Zwei Jahre Routine-Messbetrieb mit dem Wasserdampf-Lidar auf der Zugspitze

Hannes Vogelmann und Thomas Trickl

Seit Anfang 2007 befindet sich das differentielle Absorptionslidar (DIAL) auf der Zugspitze im operationellen Messbetrieb. Trotz der häufig widrigen Wetterverhältnisse konnte das Ziel, an wenigstens ein bis zwei Tagen pro Woche Wasserdampfprofile aufzunehmen, weitgehend erreicht werden. Während bei trockenen Verhältnissen, wie sie typisch für das Winterhalbjahr sind, meist eine Reichweite von 10 bis 12 km erzielt wurde, war die Reichweite unter besonders feuchten Bedingungen teilweise auf 8 bis 9 km limitiert. Im Zeitraum 2007-2008 konnten interessante Ereignisse hinsichtlich der Variabilität, insbesondere aber hinsichtlich dynamischer Prozesse wie Stratosphärenluft-Intrusionen beobachtet werden. Es gelangen erste simultane Lidar-Messungen der Vertikalverteilungen von Ozon und Wasserdampf während Intrusionen. Generell wurden selbst in sehr dünnen Luftschichten stratosphärischen Ursprungs extrem niedrige Werte der Wasserdampfkonzentration gemessen, die jedoch erstaunlicherweise deutlich unter den In-Situ-Werten vom Zugspitzgipfel liegen.



Lidar System:

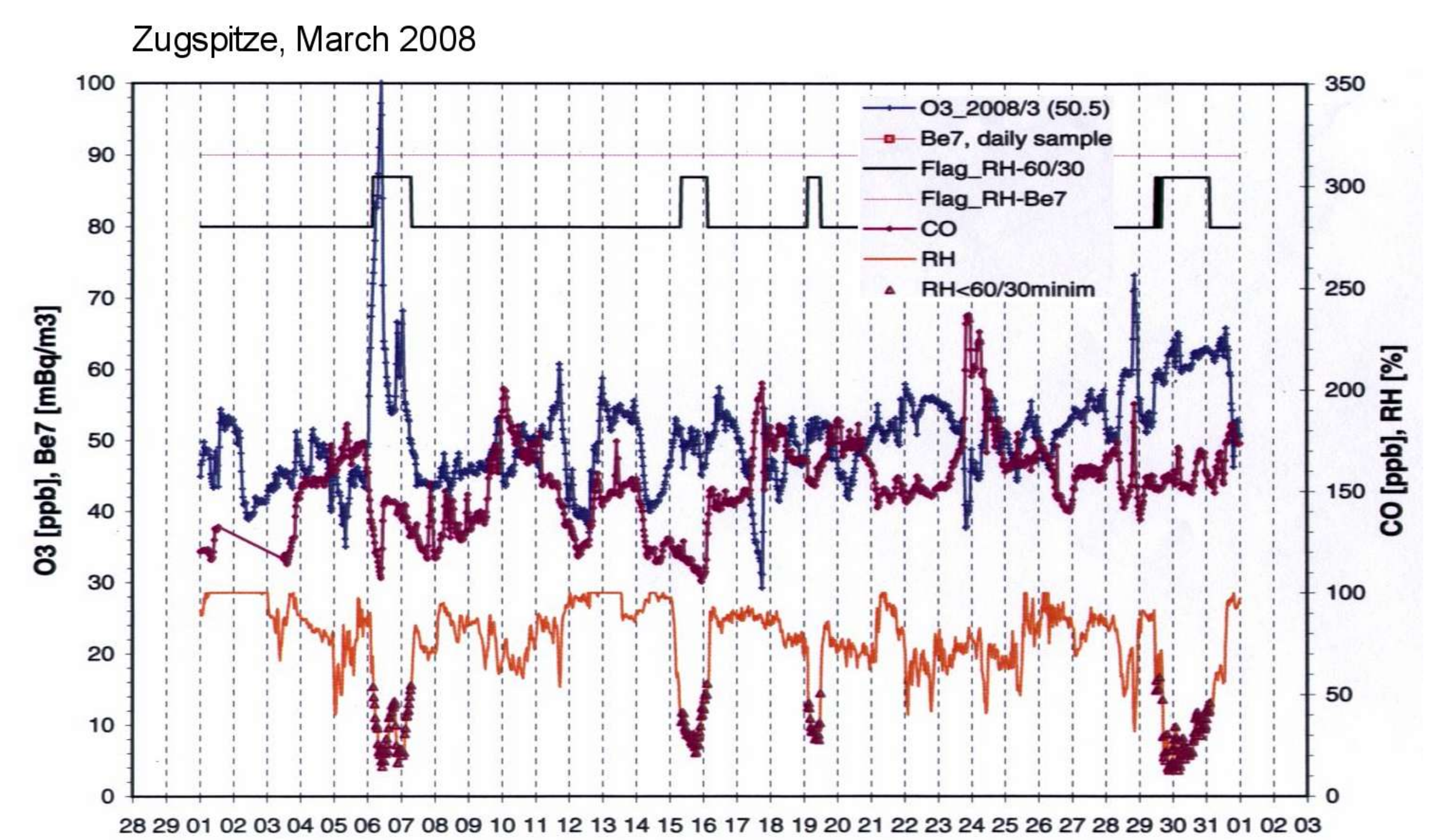
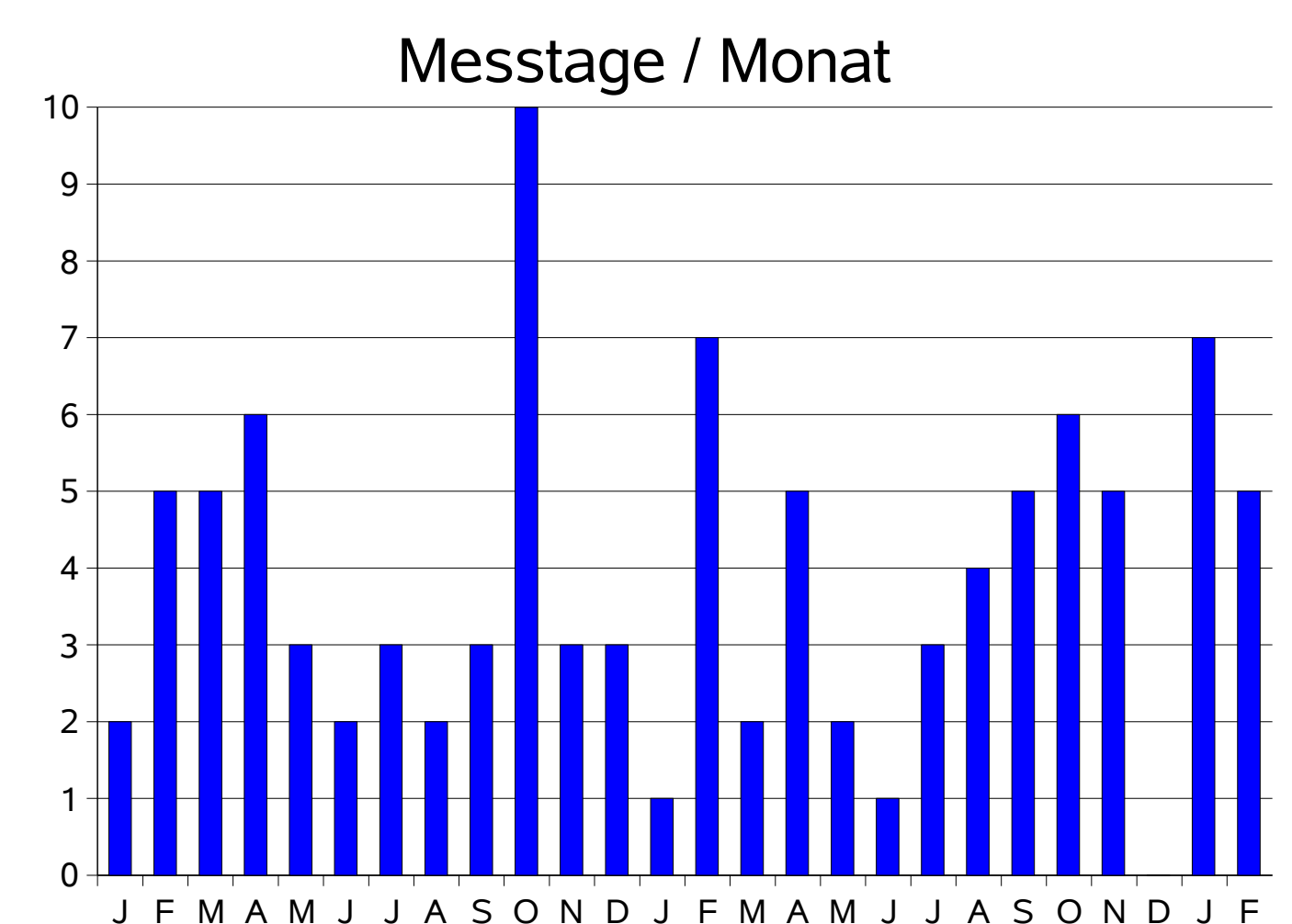
DIAL
Range: 12km asl. (daytime)
Vertical resolution: 50m to 300m
Averaging time: 17min (20k shots)

Transmitter:

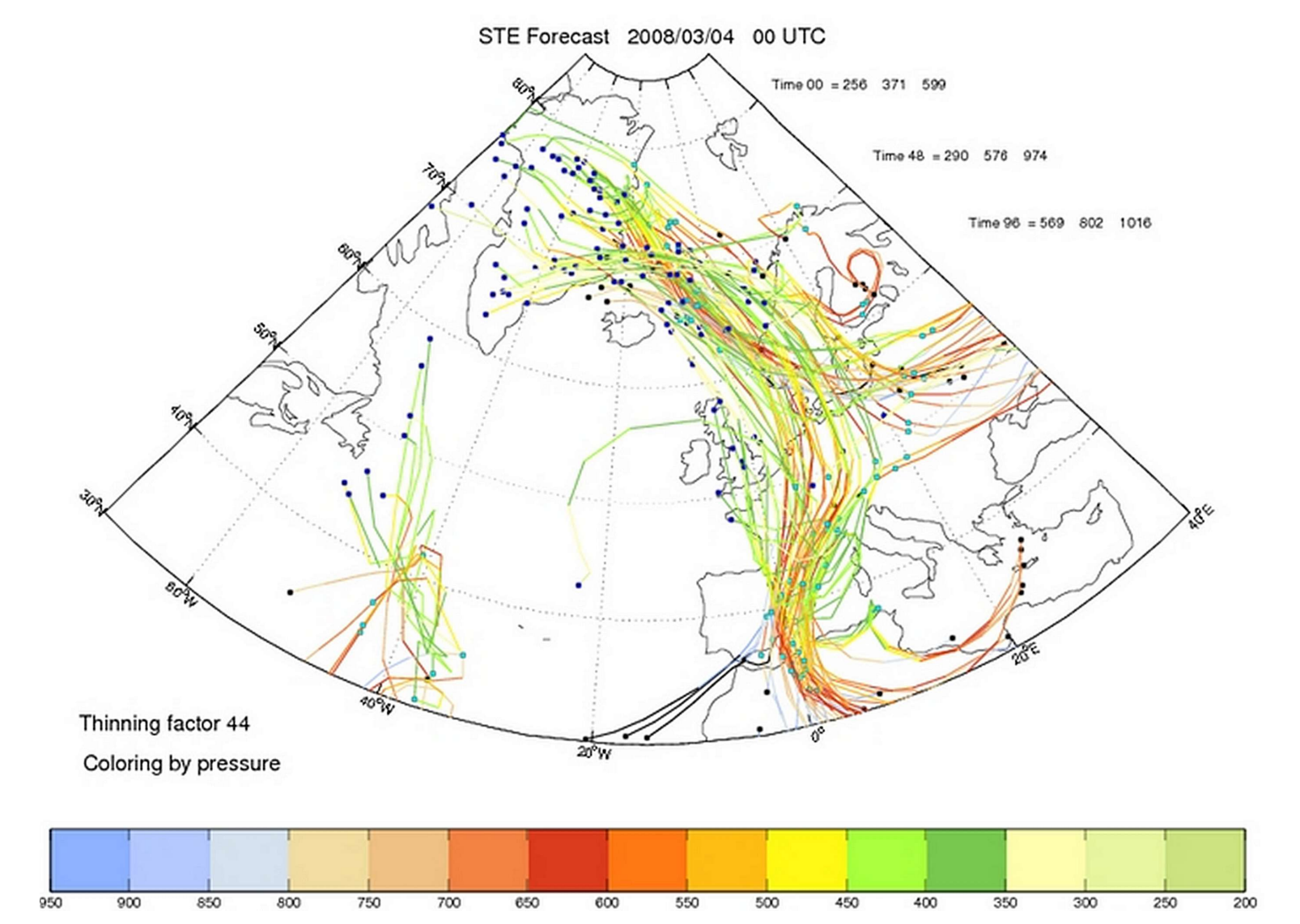
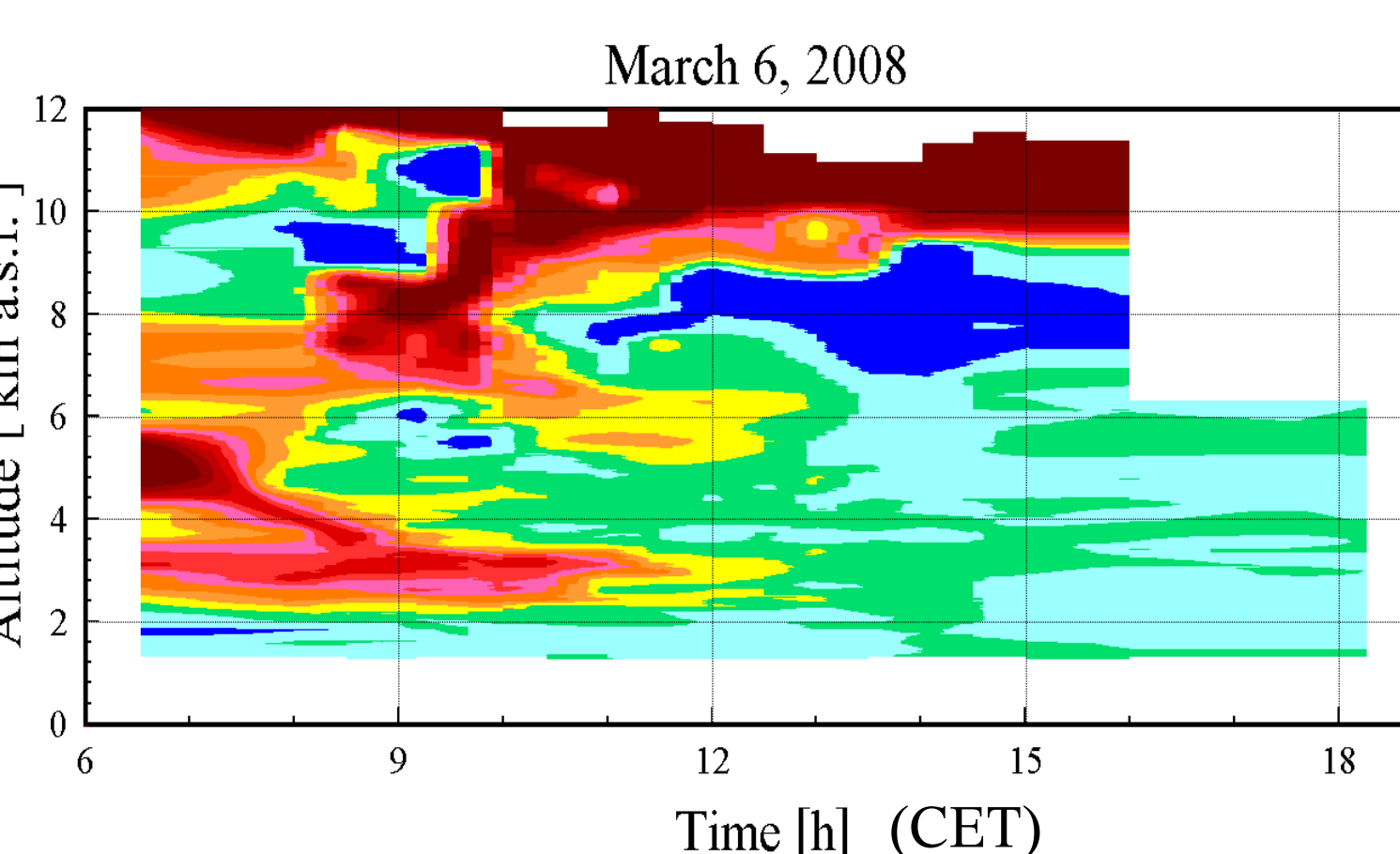
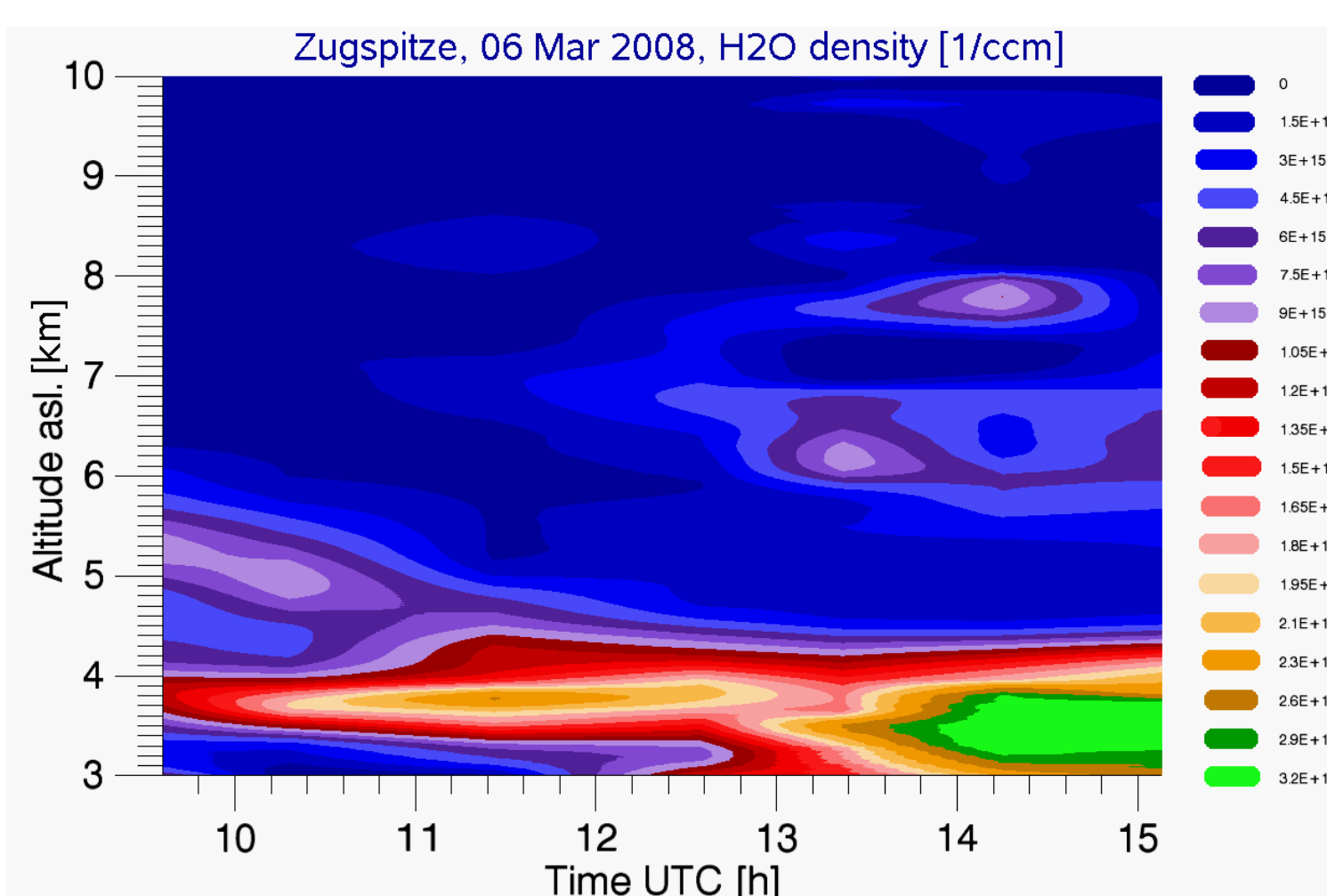
Ti:sapphire laser, sequentially seeded by two transform-limited single-mode optical parametric oscillators, design goal 700 mJ, so far achieved: 250 mJ (800 nm); Operating wavelengths around 817 nm

Receiver:

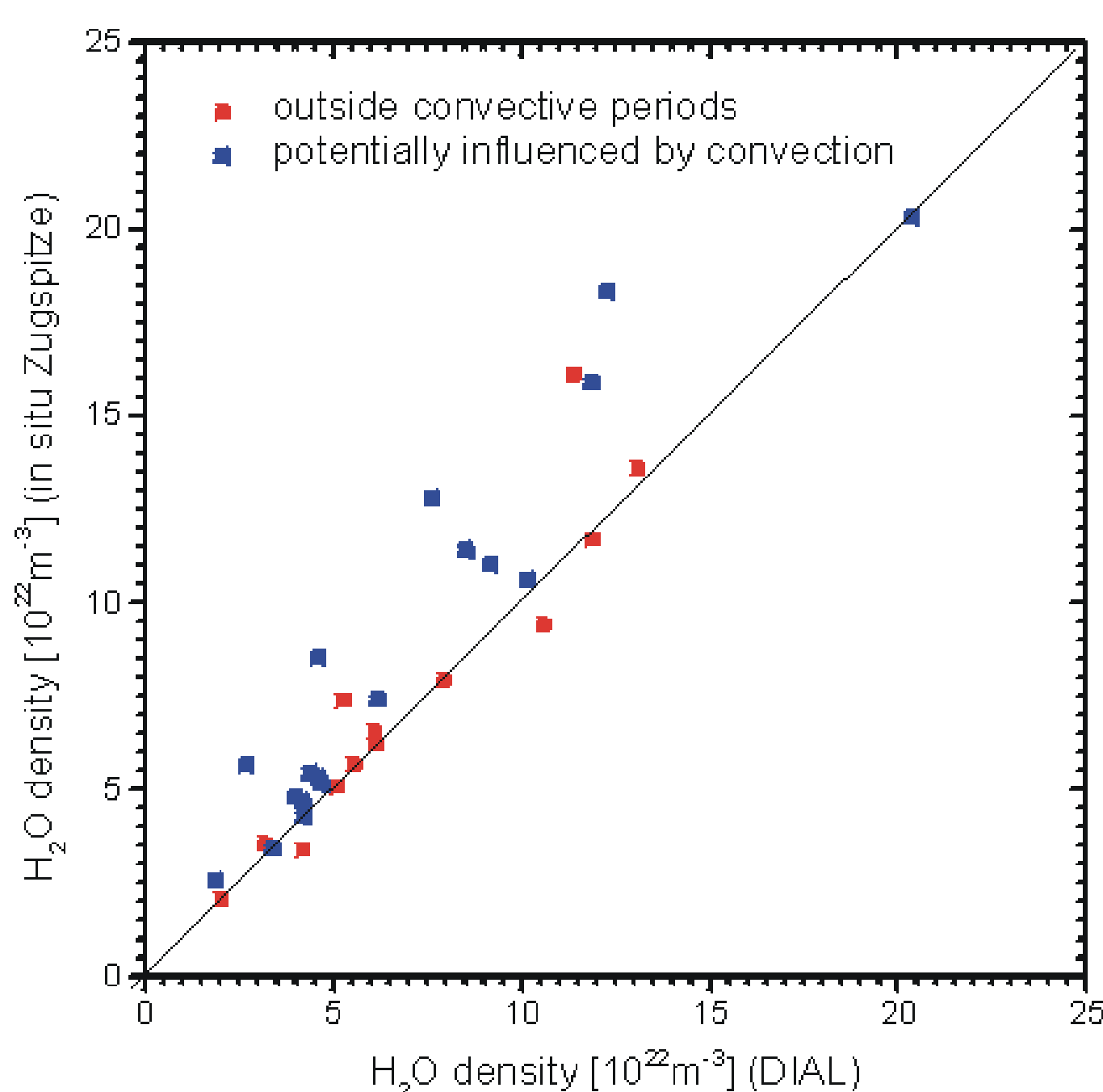
Separate near- and far-field channels
Principal mirror: 650 mm diameter
Spectral filtering: interference filter, 0.5 nm FWHM
Detectors: APDs with 3 mm diameter
Electronics: 12-bit, 20-MHz transient digitizers



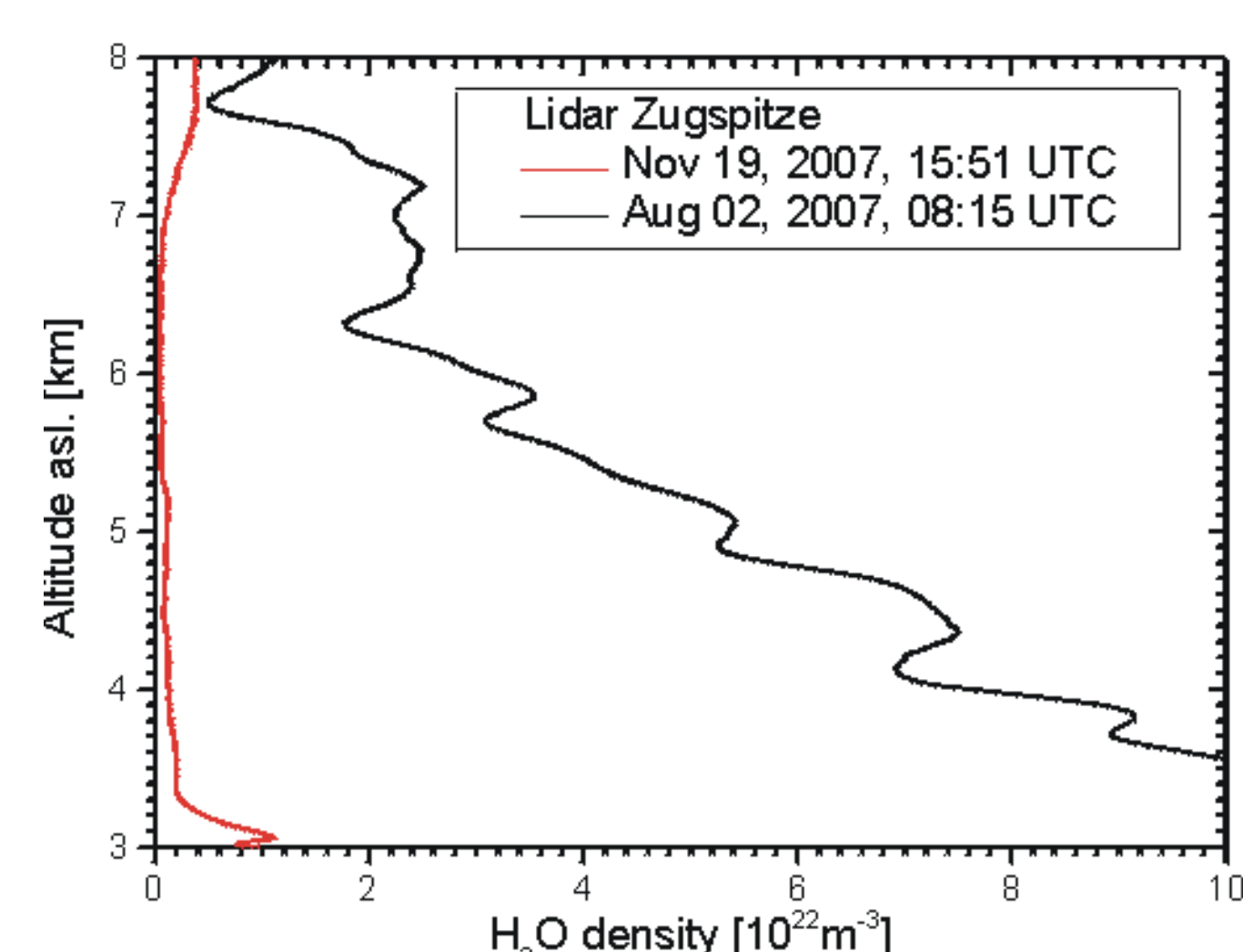
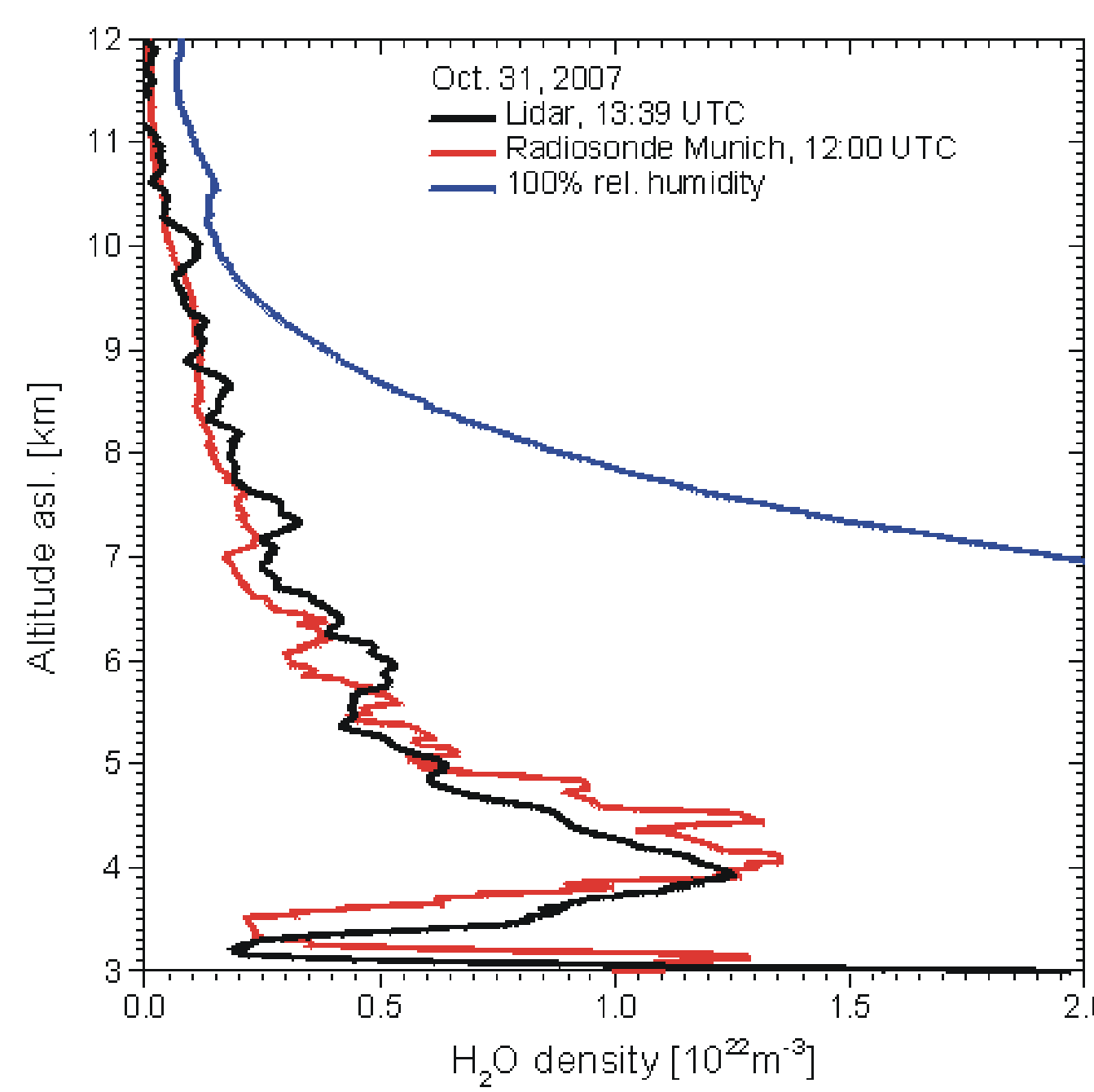
In-Situ-Zeitserie für März 2008. Die Intrusion vom 6.3. wird weitaus weniger trocken gemessen, als dies nach den Lidar-Messungen zu erwarten wäre.



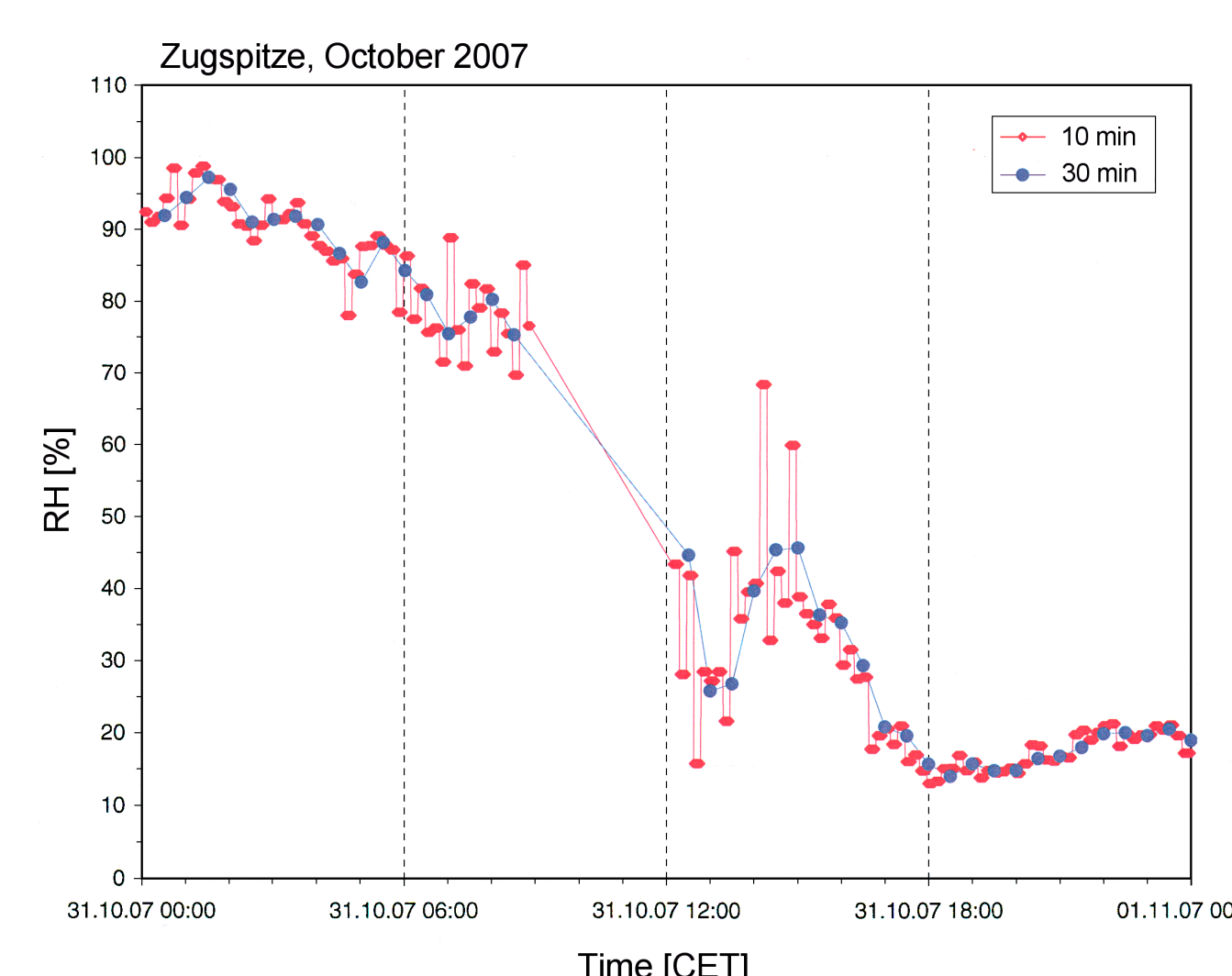
Das Stratosphärisches Intrusionsereignis vom 06.03.2008 lieferte drei Schichten stratosphärischer Luft, die sowohl mit dem Wasserdampflidar als auch mit dem Ozon-Lidar simultan detektiert wurden. Trajektorien: Michael Sprenger, ETH-Zürich.



Die In-Situ-Messungen am Zugspitzgipfel stimmen oft recht gut mit den Lidar-Messwerten überein, zeigen im Falle von Abweichungen aber stets eine zu große Feuchte. Die Abweichungen treten unter konvektiven Bedingungen auf.



Vergleich des trockensten und des feuchtesten Messtags im Jahr 2007. Der Säulengehalt zwischen 3km und 8km Höhe unterscheiden sich um den Faktor 30.



Die sehr dünne und zugleich sehr trockene Intrusion aus der Stratosphäre spiegelt sich in den In-Situ-Werten nur recht schwach wider.

Für die In-Situ-Messungen am Zugspitzgipfel wird ein Taupunktspiegel-Hygrometer eingesetzt. Dabei wird der Spiegel so lange abgekühlt, bis die Messoptik Kondensat detektiert und somit die Taupunkttemperatur bestimmt.

Während bei hohen Feuchtegehalten derartige Messungen nur wenige Sekunden in Anspruch nehmen erfordern geringe Feuchtegehalte (< 10% rel. Feuchte) und damit niedrige Taupunkttemperaturen vergleichsweise lange Messzeiten von bis zu einer Stunde. Dies liegt neben der längeren Abkühlphase (sofern ausreichend niedrige Temperaturen überhaupt erreicht werden können) vor allem daran, dass bei sehr geringen Feuchten nur wenige Wassermoleküle für die Bildung eines detektierbaren Kondensats zur Verfügung stehen. Wie die Lidar-Messungen zeigen, sind im Falle von Stratosphärenluftintrusionen relative Feuchten von nur etwa 1% und damit verbundene Taupunkttemperaturen von unter -60°C keine Seltenheit. In diesen Fällen scheint die Zuverlässigkeit des Taupunktspiegelhygrometers fragwürdig.

Im Falle der spektakulären Intrusion vom 6. März 2008 wurde mit dem Lidar im Bereich der Gipfelhöhe sogar eine minimale Feuchte von nur etwa 0.2% registriert, was sich in den In-Situ-Werten nicht widerspiegelt. Hier wurde der kleinste Halbstundenmittelwert zur gleichen Zeit mit etwa 14% rel. Feuchte ermittelt. Derartige Unterschiede zu den Lidar-Messwerten sind für etliche Fälle belegt. Dies legt nahe, dass die Durchmischung dünner Luftschichten stratosphärischen Ursprungs mit Troposphärenluft weitaus geringer ist, als man dies bisher aus den In-Situ-Werten geschlossen hat.

Vielen Dank an Dr. H. E. Scheel für die In-Situ-Messwerte der Gipfelstation auf der Zugspitze, sowie den Mitarbeitern der Schneefernerhaus-Betriebsgesellschaft für die große Unterstützung beim Messbetrieb.