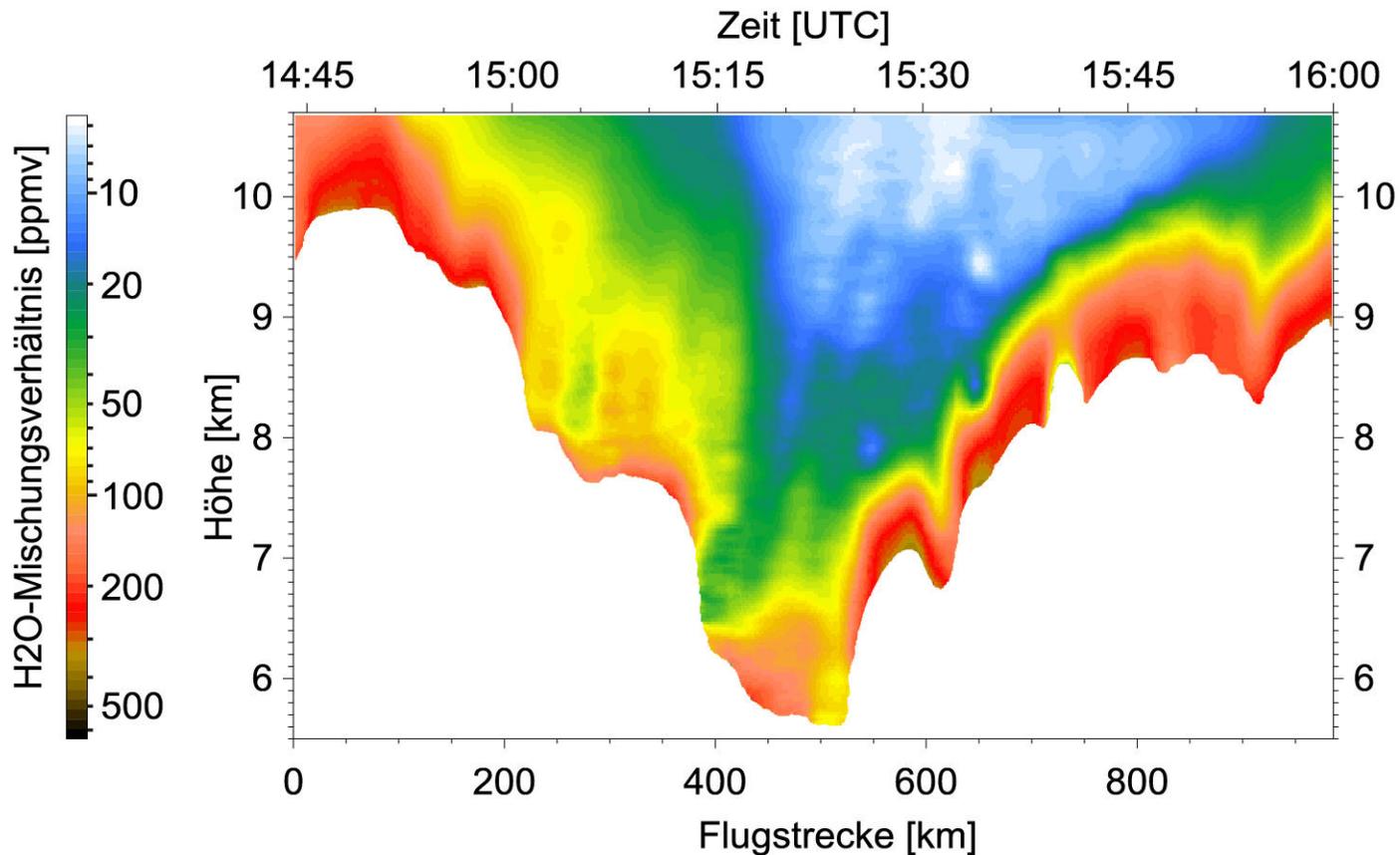


Kapitel 5

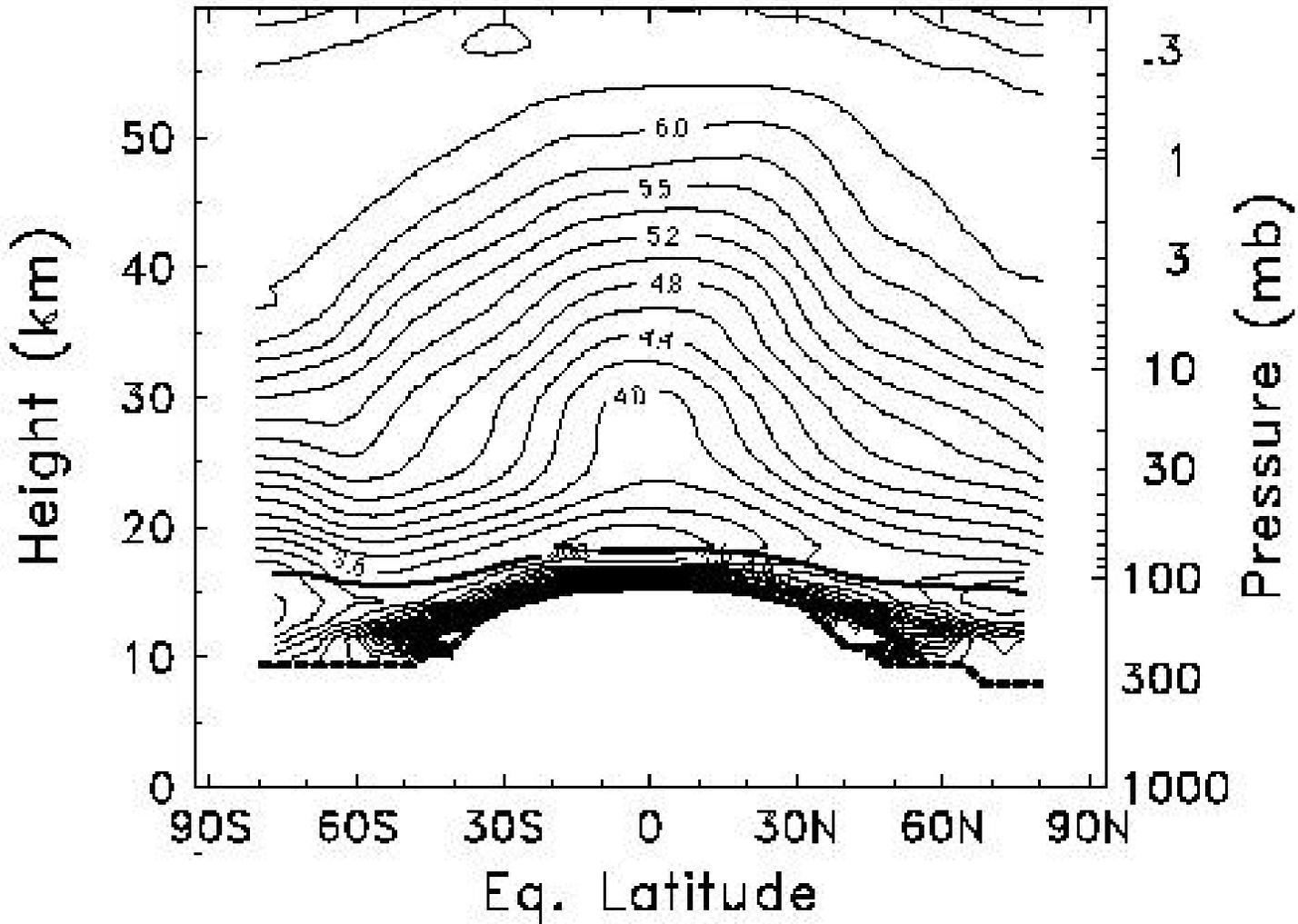
Stratosphärischer Wasserdampf in der Vergangenheit



Kapitel 5: Gliederung

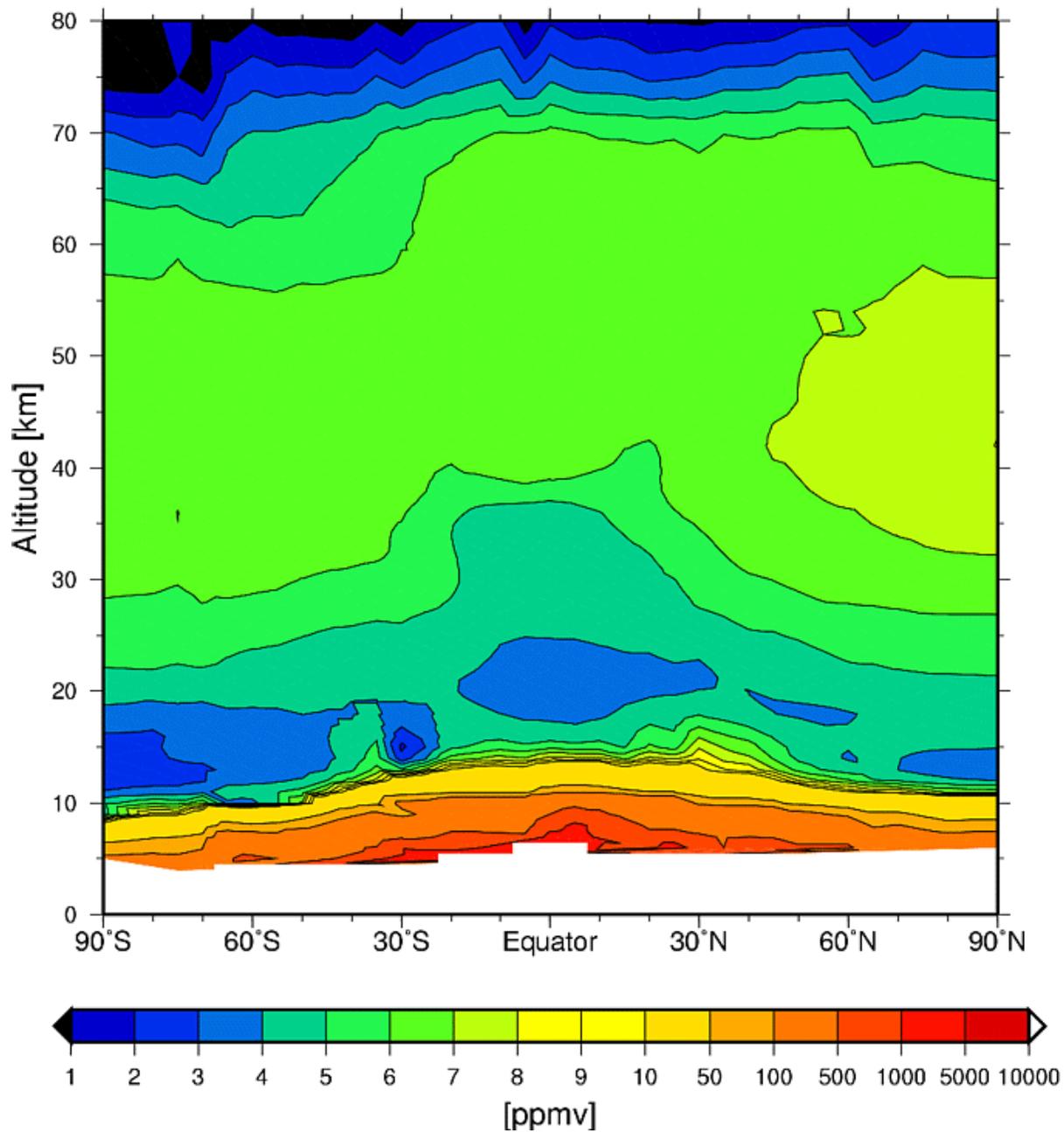
- Übersicht
- Quellen des stratosphärischen Wasserdampfs
- Messungen
- Wasserdampftrend

Annual mean water vapor



Annual zonal mean water vapour from HALOE and MLS data by height and equivalent latitude. Contour interval of 0.2 ppmv. The thick dashed line is the tropopause, and the thick solid line is the 400 K potential temperature surface.

MIPAS H₂O AP, 18.-27. Sep 2002



Übersicht

- Wasserdampf ist das wichtigste Treibhausgas. Es spielt eine Schlüsselrolle bei Klima-Chemie Wechselwirkungen.
- Frühere Studien belegen, dass sich Ozonstörungen in der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre als Folge von Rückkopplungsprozessen mit Wasserdampf verstärken können (WMO, 2003).
- Jeder Anstieg in der Wasserdampfkonzentration kann zu einem Anstieg der HO_x Radikale führen, was die NO_x und ClO_x Zyklen beeinflussen kann und letztendlich zu einer Ozonzerstörung beiträgt (siehe auch Kapitel 11).

Quellen des stratosphärischen Wasserdampfs

- Eine Änderung in der Wasserdampfkonzentration kann ebenso die Bildungstemperaturen für polare Stratosphärenwolken verändern (siehe auch Kapitel 12).
- Luft wird vorzugsweise in den Tropen in die Stratosphäre eingebracht; stratosphärischer Wasserdampf ist primär durch die Temperaturen nahe der Tropopause bestimmt.
- Die damit verbundenen Prozesse wurden in den letzten Jahren im Detail studiert, zum Beispiel mittels Trajektorienstudien (z.B. Fueglistaler et al., 2005).

Fueglistaler, S., M. Bonazzola, P.H. Haynes, und T. Peter, Stratospheric water vapor predicted from the Lagrangian temperature history of air entering the stratosphere in the tropics, *J. Geophys. Res.*, 110, D08107, doi: 10.1029/2004JD005516, 2005.

Quellen des stratosphärischen Wasserdampfs

- Wasserdampf wird aber auch direkt in der Stratosphäre produziert und zwar durch die photochemische Oxidation von Methan; dabei werden zwei Wassermoleküle pro Methanmolekül produziert.
- Der Anstieg der troposphärischen Methankonzentration seit den 1950er Jahren (0.55 ppmv) ist daher zu einem Teil für den Anstieg der stratosphärischen Wasserdampfkonzentration in diesem Zeitraum verantwortlich (SPARC, 2000).

SPARC (Stratospheric Processes And their Role in Climate), *SPARC Assessment of Upper Tropospheric and Stratospheric Water Vapour*, edited by D. Kley, J.M. Russell III, and C. Phillips, *World Climate Research Program Report 113*, *SPARC Report 2*, 312 pp., Verrières le Buisson, France, 2000.

Messungen

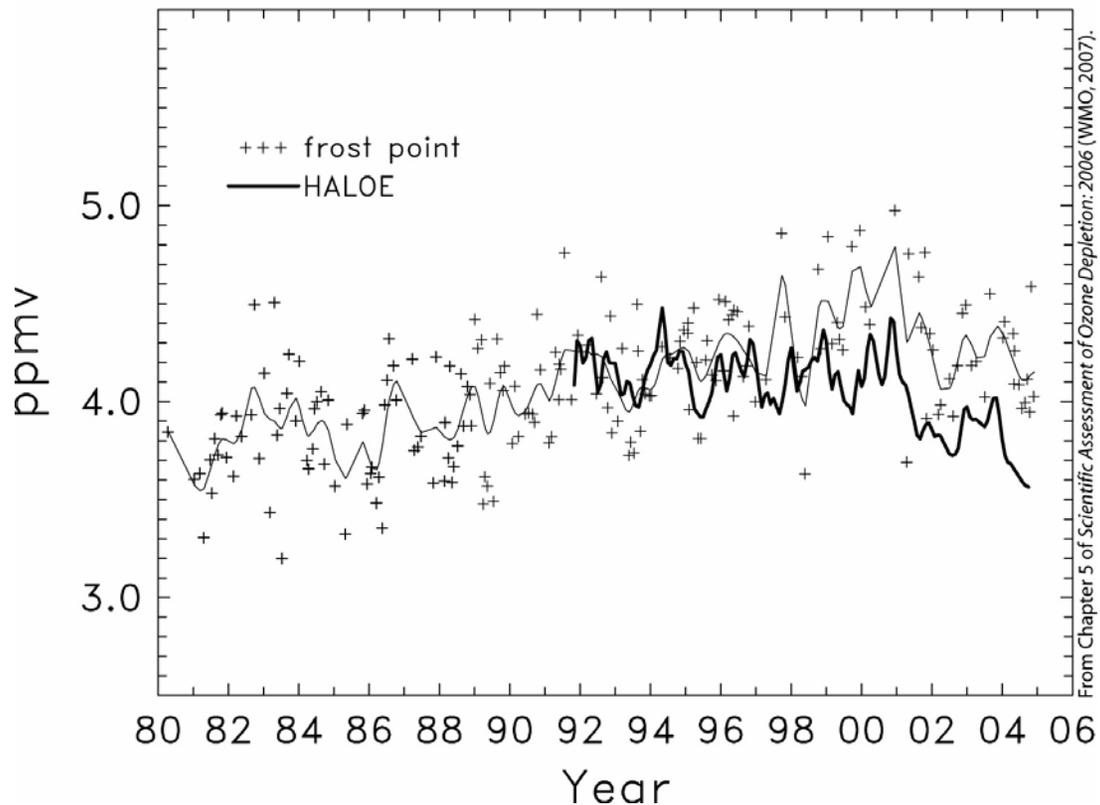
- Messungen des stratosphärischen Wasserdampfgehaltes sind durch Boden gestützte Instrumente, vom Flugzeug (Titelbild des Kapitels) und Ballonen sowie durch Satelliteninstrumenten verfügbar.
- Der längste kontinuierliche Datensatz existiert von einer einzelnen lokalen Station (Boulder, Colorado, USA); er basiert auf Ballon getragenen "Frost-point hygrometer" Messungen, die etwa einmal im Monat seit 1980 durchgeführt werden (Oltmans et al., 2000; siehe nachfolgende Abbildung).

Oltmans, S.J., H. Vömel, D.J. Hofmann, K.H. Rosenlof, und D. Kley, The increase in stratospheric water vapor from balloonborne frostpoint hygrometer measurements at Washington D.C., and Boulder, Colorado, *Geophys. Res. Lett.*, 27 (21), 3453-3456, 2000.

Wasserdampftrend

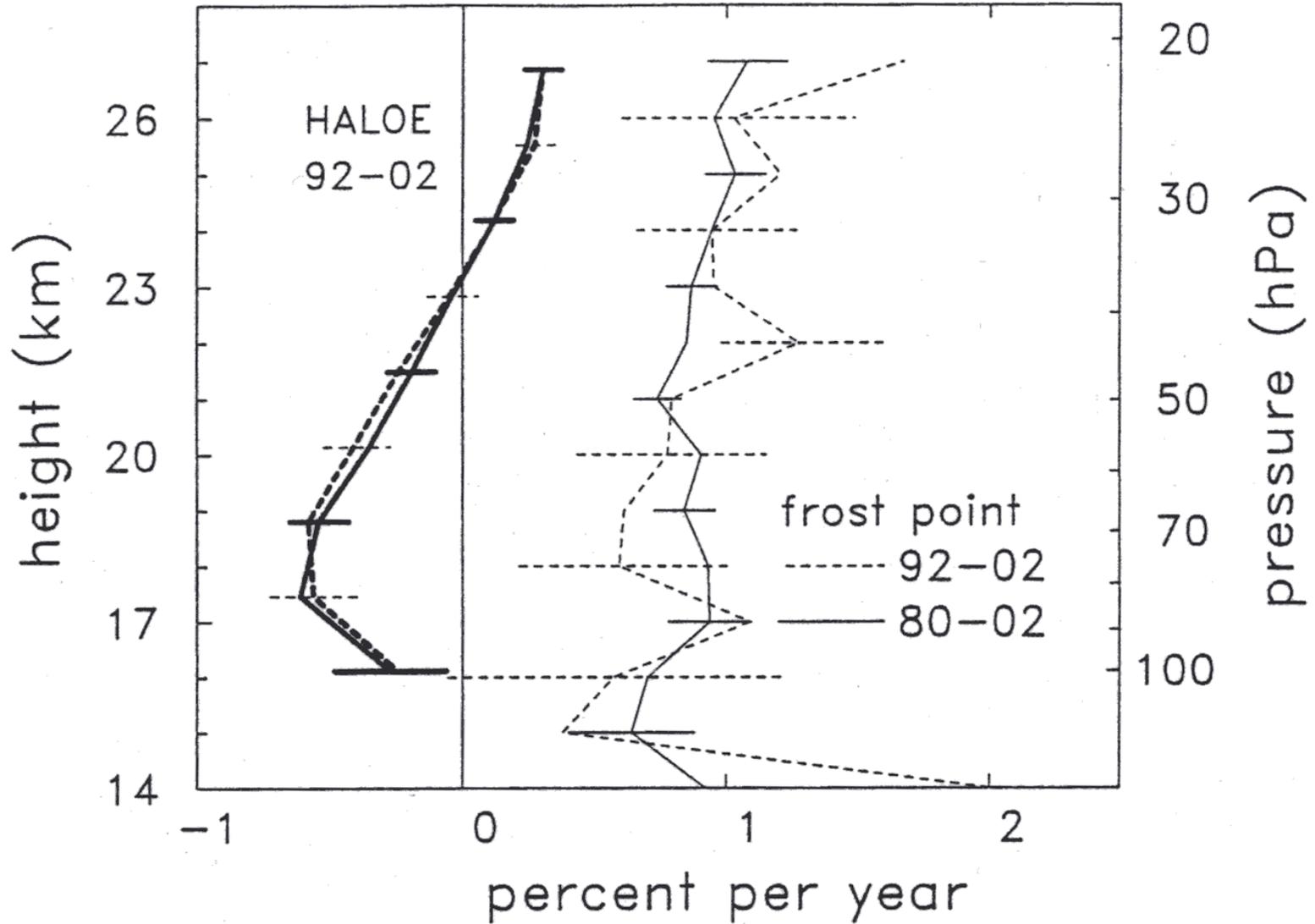
- Über den Zeitraum von 1980 bis 2005 beobachtet man einen statistisch signifikanten linearen Trend von etwa 5-10% pro Dekade in allen Höhen zwischen ungefähr 15 und 26 km.

Boulder H₂O 17–22km avg



Wasserdampftrend

Boulder H₂O trend



Wasserdampftrend

- Trotzdem ist zu beachten, dass obwohl man einen linearen Trend aus diesem 25-jährigen Datensatz ableiten kann, es eine hohe Variabilität gibt und der zu erkennende Anstieg nicht kontinuierlich und stetig ist.
- Vor allem ist zu beachten, dass die stratosphärische Wasserdampfkonzentration seit 2001 deutlich abgenommen hat.

Wasserdampftrend

- Langzeitliche Anstiege des stratosphärischen Wasserdampfgehaltes sind auch in einer Reihe anderer Datensätze erkennbar, die den Zeitraum zwischen 1980 und 2000 überdecken (Rosenlof et al., 2001), obwohl die Zeitreihen oft kurz sind und die Unsicherheiten in der Qualität zum Teil hoch ist (Homogenität der Daten).

Rosenlof, K.H., S.J. Oltmans, D. Kley, J.M. Russell III, E.-W. Chiou, W.P. Chu, D.G. Johnson, K.K. Kelly, H.A. Michelsen, G.E. Nedoluha, E.E. Remsberg, G.C. Toon, und M.P. McCormick, Stratospheric water vapor increases over the past half-century, *Geophys. Res. Lett.*, 28 (7), 1195-1198, 2001.

- Forschungsarbeiten der letzten Jahre haben sich vor allem auf die jährlichen Fluktuationen und langzeitliche Entwicklung der Wasserdampfverteilung konzentriert; dabei wurden besonders die globalen Beobachtungen des Satelliteninstrumentes "Halogen Occultation Experiment (HALOE)" verwendet.

Wasserdampftrend

- Diese Messungen überdecken nun mehr als eine Dekade (1991 bis 2005). Jährliche Schwankungen die mit HALOE beobachtet werden sind in sehr guter Übereinstimmung mit dem "Polar Ozone and Aerosol Measurement" (POAM) Satellitendatensatz (Randel et al., 2004b) und auch mit den SAGE II Daten (Thomason et al., 2004; Chiou et al., 2006).

Randel, W., P. Udelhofen, E. Fleming, M. Geller, M. Gelman, K. Hamilton, D. Karoly, D. Ortland, S. Pawson, R. Swinbank, F. Wu, M. Baldwin, M. Chanin, P. Keckhut, K. Labitzke, E. Remsberg, A. Simmons, und D. Wu, The SPARC intercomparison of middle-atmosphere climatologies, *J. Clim.*, 17 (5), 986-1003, 2004b.

Wasserdampftrend

Thomason, L.W., S.P. Burton, N. Iyer, J.M. Zawodny, and J. Anderson, A revised water vapor product for the Stratospheric Aerosol and Gas Experiment (SAGE) II version 6.2 data set, *J. Geophys. Res.*, 109, D06312, doi: 10.1029/2003JD004465, 2004.

Chiou, E.W., L.W. Thomason, and W.P. Chu, Variability of stratospheric water vapor inferred from SAGE II, HALOE and Boulder balloon measurements, *J. Clim.*, 19 (16), 4121–4133, 2006.

Wasserdampftrend

- Die Boulder- und HALOE-Daten zeigen im ersten Teil der gemeinsamen Messperiode (von 1992 bis 1996) eine ganz guten Übereinstimmung, jedoch liegen die in Boulder gemessenen Wasserdampfkonzentrationen nach 1997 um etwa 5 bis 8% höher.
- Diese Unterschiede sind innerhalb der Messgenauigkeit von beiden Beobachtungen, die bei etwa 10-20% liegt (SPARC, 2000).
- Wichtig ist, dass die Jahr-zu-Jahr Schwankungen in beiden Datensätzen korreliert sind und beide Zeitreihen nach 2001 einen Rückgang der Wasserdampfkonzentrationen zeigen.

Wasserdampftrend

- Ein Ergebnis der Unterschiede nach 1997 ist, dass die Änderungen, die man aus den beiden Datensätzen für die relativ kurze Überlappungsperiode (1992 bis 2005) erhält, sehr unterschiedlich sind, wobei die HALOE-Daten eine Netto-Abnahme zeigen, die in Boulder gewonnenen Daten aber nicht.
- Diese Unterschiede sind statistisch signifikant (Randel et al., 2004b); Randel et al. erhalten für die Zeitreihe von 1992 bis 2002 eine statistische Unsicherheit der linearen Trendabschätzung von weniger als $\pm 0.5\%/Jahr$.
- Der Grund für die Unterschiede in den beiden Datenreihen (für den gleichen Zeitraum und den gleichen Ort) in derzeit unklar!

Wasserdampftrend

- Jahr-zu-Jahr Änderungen in den von HALOE gemessenen Wasserdampfkonzentrationen während der Jahre von 1992 bis 2005 sind quantitativ in guter Übereinstimmung mit beobachteten Änderungen der tropischen Tropopausentemperatur während dieser Zeit (Randel et al., 2004a; Fueglistaler and Haynes, 2005).

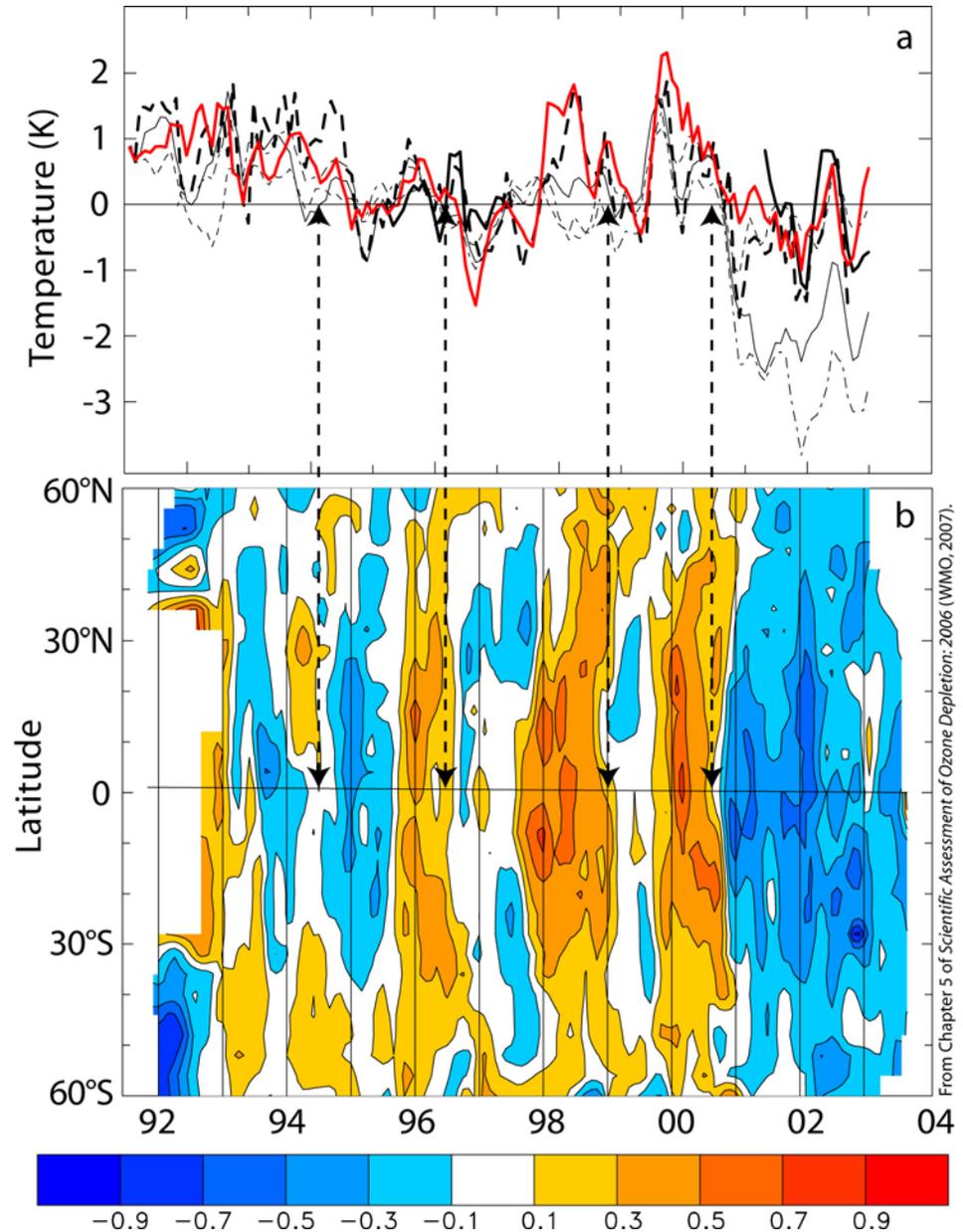
Randel, W.J., F. Wu, S.J. Oltmans, K. Rosenlof, und G.E. Nedoluha, Interannual changes of stratospheric water vapor and correlations with tropical tropopause temperatures, *J. Atmos. Sci.*, 61 (17), 2133-2148, 2004a.

Fueglistaler, S., und P.H. Haynes, Control of interannual and longer-term variability of stratospheric water vapor, *J. Geophys. Res.*, 110, D24108, doi: 10.1029/2005JD006019, 2005.

- Beispiel: Variationen der Tropopausentemperatur sind verbunden mit der QBO (und zu einem geringeren Umfang auch mit der "El Niño-Southern Oscillation": ENSO) und auch erkennbar in beobachteten Änderungen des Wasserdampfgehalts (siehe Abbildung).

Wasserdampftrend

- Die anhaltende Abnahme der stratosphärischen Wasserdampfkonzentrationen nach 2001 steht im Zusammenhang mit anomal niedrigen Tropopausentemperaturen (Randel et al., 2004a; 2006; Fueglistaler and Haynes, 2005; siehe Abbildung).



Wasserdampftrend

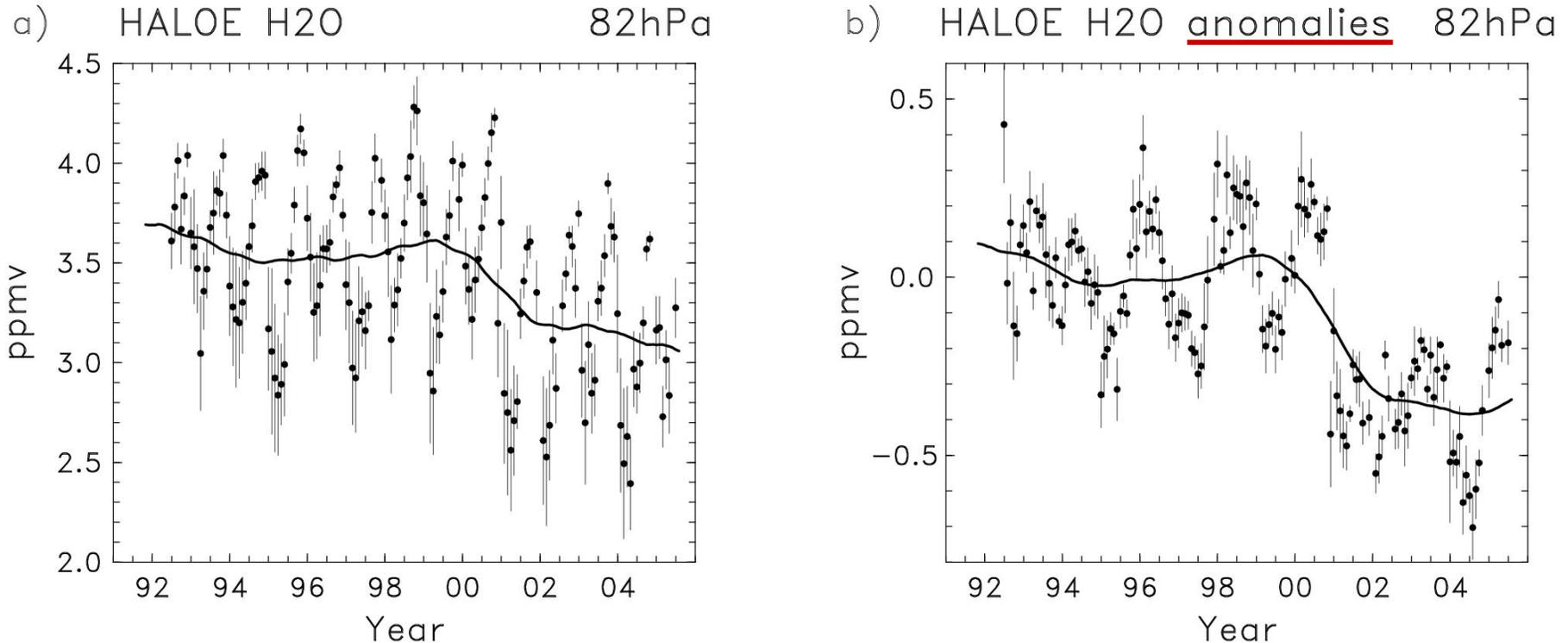
- Diese Übereinstimmung signalisiert ein gewisses Maß an Verständnis der Jahr-zu-Jahr Variationen des Wasserdampfgehalts während der HALOE-Messperiode; ferner ergibt sich die Möglichkeit, zukünftige Werte anhand der Tropopausentemperatur abzuschätzen.
- Im Gegensatz dazu ist der Trend in den Boulder-Ballondaten seit 1980 (Rosenlof et al., 2001) kaum in Einklang mit der langzeitlichen Entwicklung der Tropopausentemperatur zu bringen (z.B. Seidel et al., 2001).

Seidel, D.J., R.J. Ross, J.K. Angell, und G.C. Reid, Climatological characteristics of the tropical tropopause as revealed by radiosondes, *J. Geophys. Res.*, 106 (D8), 7857-7878, 2001.

Wasserdampftrend

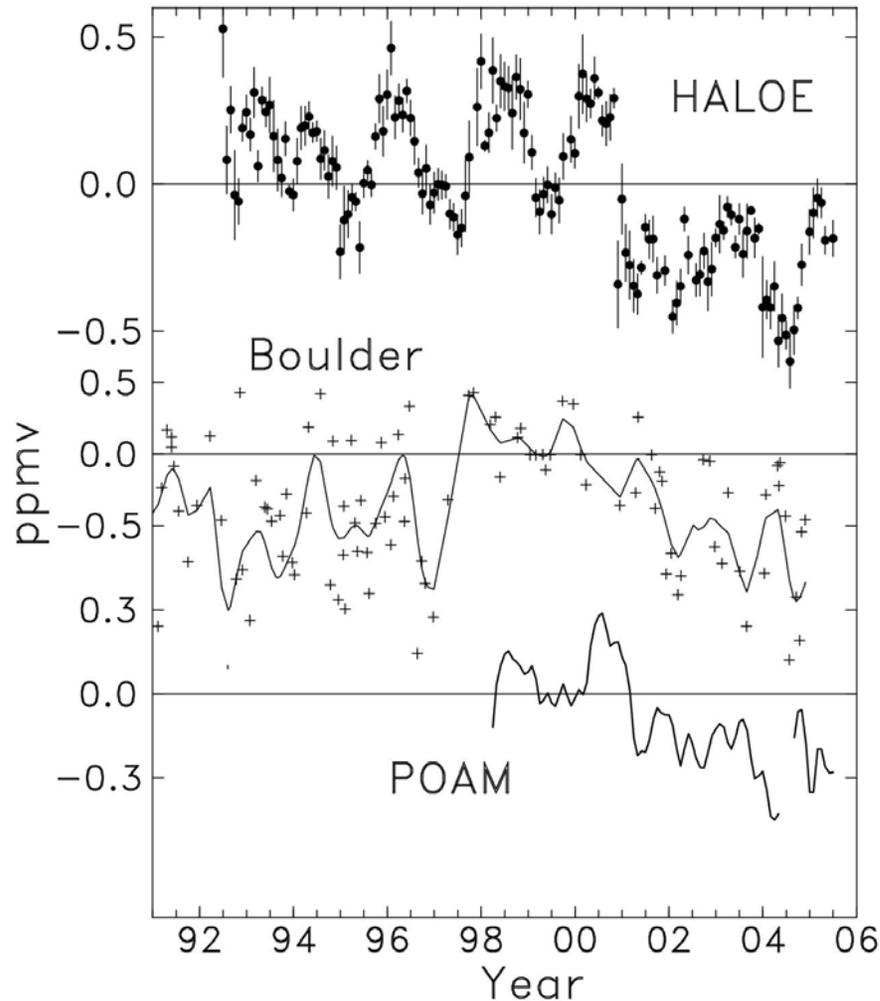
- Nur ein Teil der Änderungen kann durch den Anstieg des troposphärischen Methangehalts erklärt werden (Fueglistaler und Haynes, 2005).
- Während die Erklärung der Schwankungen im HALOE-Datensatz qualitativ gut verstanden ist, ist der Anstieg in der in Boulder gemessenen Zeitreihe größer, als sie durch beobachtete Änderungen der Tropopausentemperatur und den Anstieg im troposphärischen Methangehalt erklärt werden kann.

Wasserdampftrend (Fig. 1)



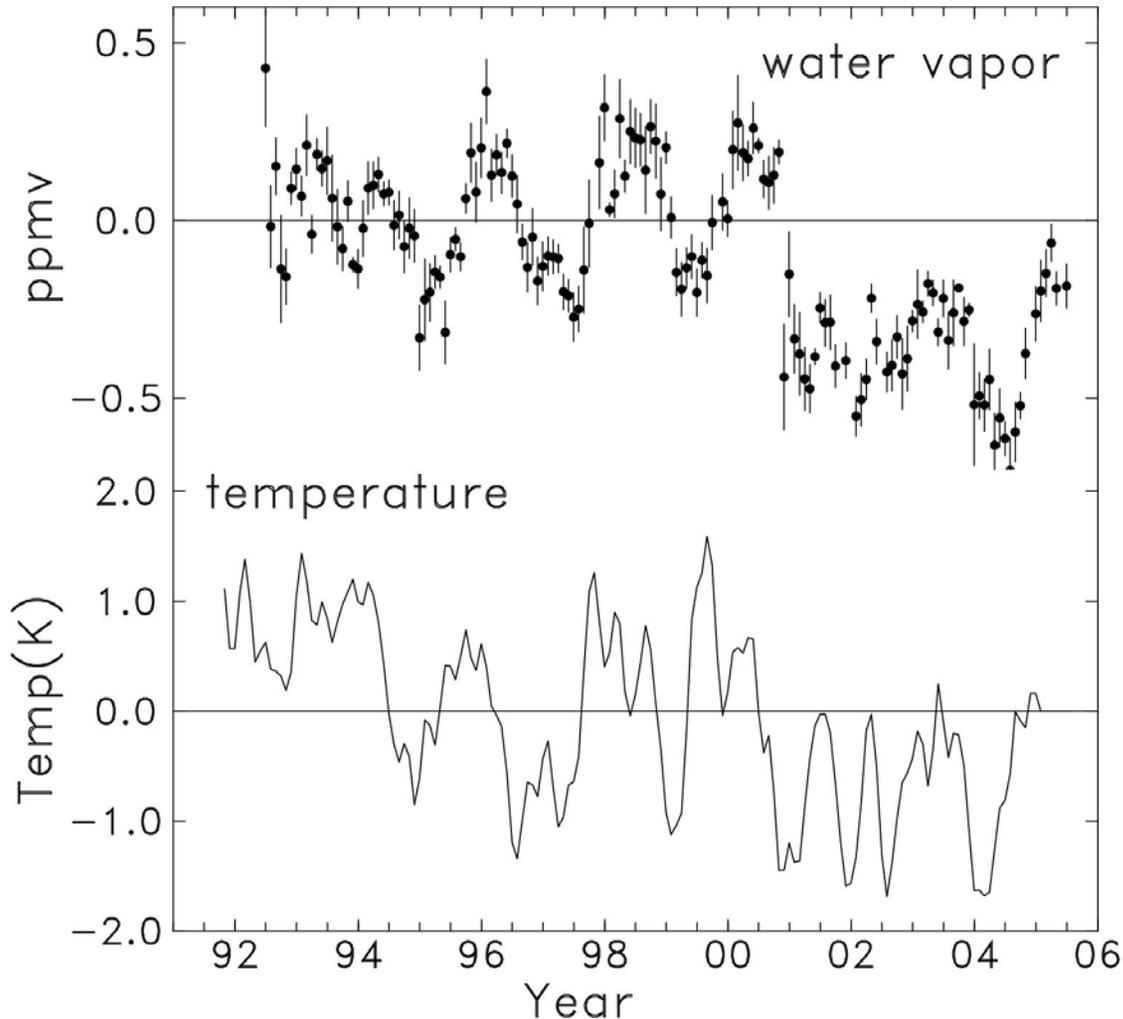
Time series of near-global mean ($\sim 60^\circ\text{N-S}$) water vapor at 82 hPa derived from HALOE data. The circles show monthly mean values, and error bars denote the monthly standard deviation. (b) Deseasonalized near-global mean H₂O anomalies at 82 hPa. In both panels the solid lines are running Gaussian-weighted means of the individual points (using a Gaussian half width of 12 months).

Wasserdampftrend (Fig. 2)



Comparison of lower-stratospheric water vapor anomalies derived from HALOE satellite data; balloon measurements from Boulder, Colorado (40°N); and POAM III satellite measurements. The HALOE data details are the same as in Figure 1b. The plus signs show the individual Boulder balloon measurements (averaged over 16-18 km), and the line is a smooth fit to the time series using a running Gaussian average with half width three months. The POAM III data represent Arctic latitudes (~55–70°N), are averaged over 16-18 km, and the monthly data have been smoothed with a running 1-2-1 average.

Wasserdampftrend (Fig. 4)



(top) Time series of deseasonalized anomalies in lower-stratospheric (82 hPa) water vapor derived from HALOE data (as in Figure 1b).

(bottom) Time series of deseasonalized anomalies in tropical cold point temperature, derived from 14 radiosonde stations over 10°N-10°S.

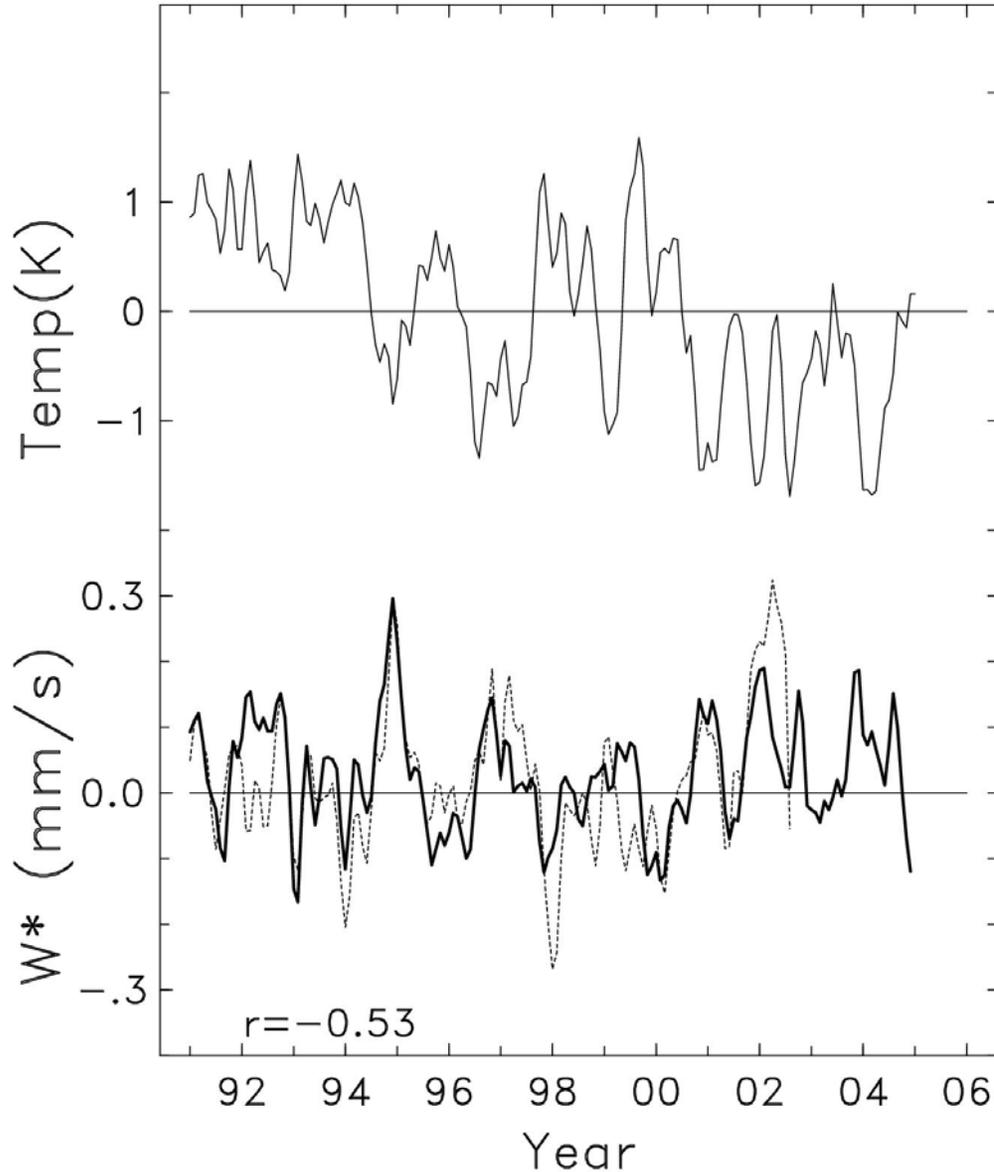
Wasserdampftrend (Randel et al., 2006)

- Sowohl Satelliten- als auch Ballonmessungen der stratosphärischen Wasserdampfkonzentration zeigen nachhaltig niedrige Werte seit 2001.
- Temperaturmessungen zeigen, dass die tropische Tropopause seit dieser Zeit außergewöhnlich kalt ist.
- Die beobachteten Änderungen im Wasserdampfgehalt (etwa -0.4 ppmv) sind konsistent mit der gemessenen Temperaturabnahme (etwa -1°C).
- Diese "Kälteanomalien" findet man in den Tropen in einer dünnen vertikalen Schicht zwischen 15 und 20 km Höhe.

Wasserdampftrend (Randel et al., 2006)

- In dem gleichen Zeitraum gibt es korrespondierende Änderungen in dem tropischen Ozonprofil, mit einer Reduktion von etwa 10% in einer ähnlich dünnen Schicht nahe der Tropopause.
- Die Variationen in Temperatur und Ozongehalt scheinen direkt miteinander verknüpft zu sein; die räumlichen Änderungsmuster seit 2001 sind konsistent mit einem Anwachsen der mittleren tropischen Aufwärtsbewegung (Brewer-Dobson Zirkulation).
- Abschätzungen des Aufsteigens tropischer Luft (aus statistischen Analysen) zeigt einen direkten Zusammenhang mit Jahr-zu-Jahr Temperaturänderungen, einschließlich einem konsistenten Anstieg nach 2001.

Wasserdampftrend (Fig. 5)

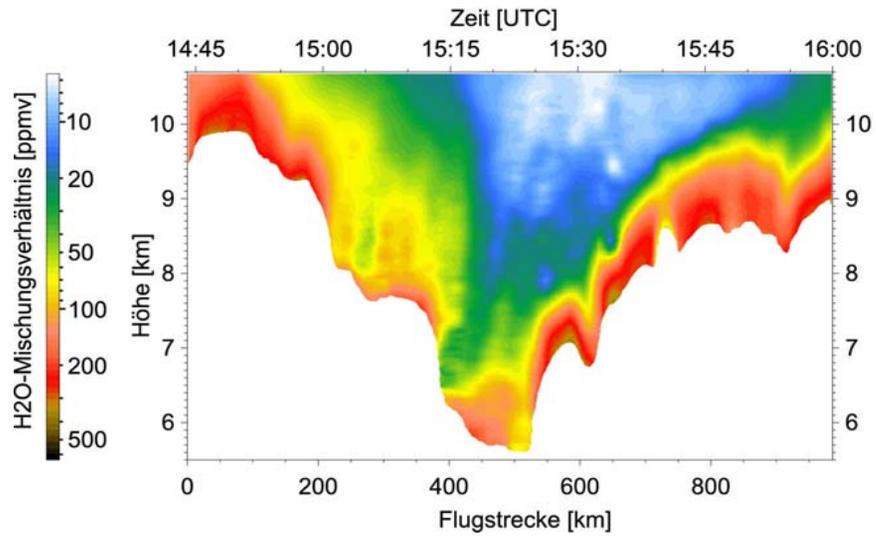


(top) Time series of cold point tropopause temperature anomalies, identical to Figure 4.
(bottom) Estimates of interannual variations in tropical vertical velocity at 100 hPa over 20°N-20°S, derived from subtropical momentum balance calculations. Results are shown on the basis of NCEP (solid line) and ERA40 reanalyses (dashed line).

Wasserdampftrend (Randel et al., 2006)

- Teilweise könnten die Temperaturänderungen auch als Strahlungseffekt aufgrund beobachteter, abnehmender Ozonkonzentrationen erklärt werden.
- Die Ergebnisse zeichnen ein konsistentes Bild von einer nach 2001 erhöhten tropischen Aufwärtsbewegung, was zu niedrigeren Wasserdampf- und Ozonkonzentrationen nahe der tropischen Tropopause führt (siehe auch Kapitel 14).
- Die seit 2001 beobachteten niedrigen Wasserdampfwerte beeinflussen entscheidend Trendabschätzungen von Temperatur und Ozon nahe der tropischen Tropopause.

Randel, W.J., F. Wu, H. Vömel, G.E. Nedoluha, und P. Forster, Decreases in stratospheric water vapor since 2001: links to changes in the tropical tropopause and the Brewer-Dobson circulation, *J. Geophys. Res.*, 111, D12312, doi: 10.1029/2005JD006744, 2006.



Ende Kapitel 5