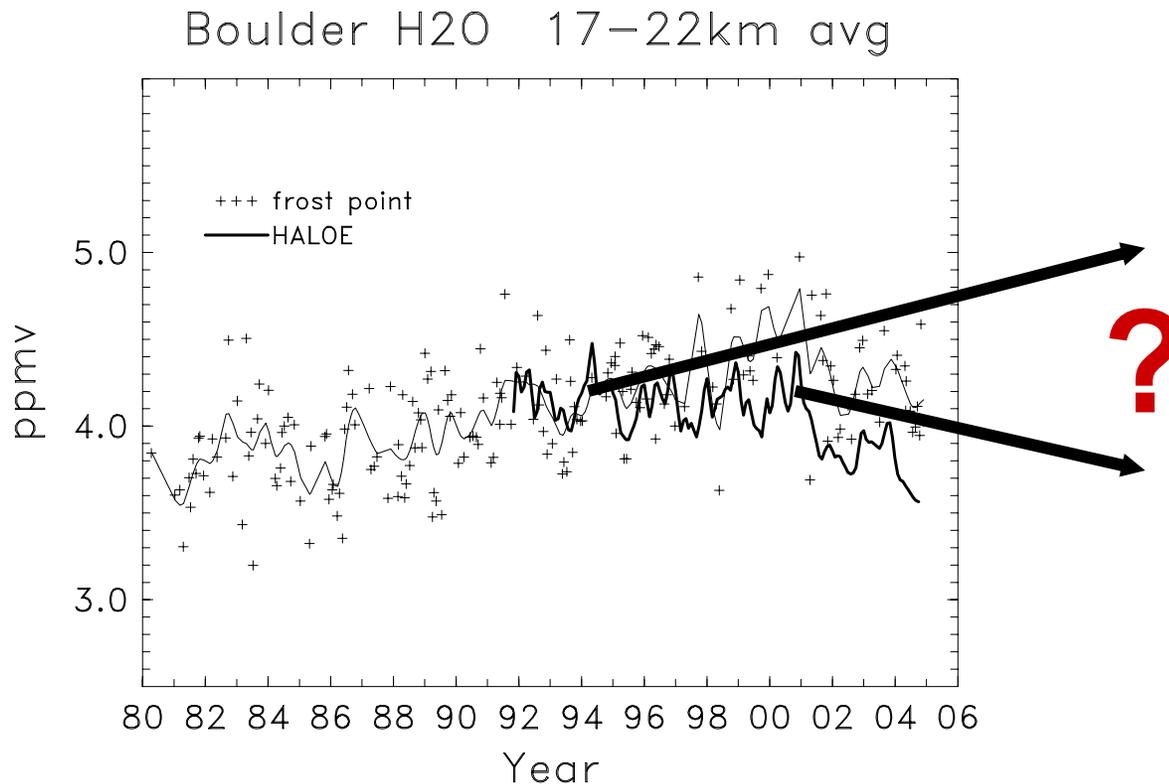


# Kapitel 12

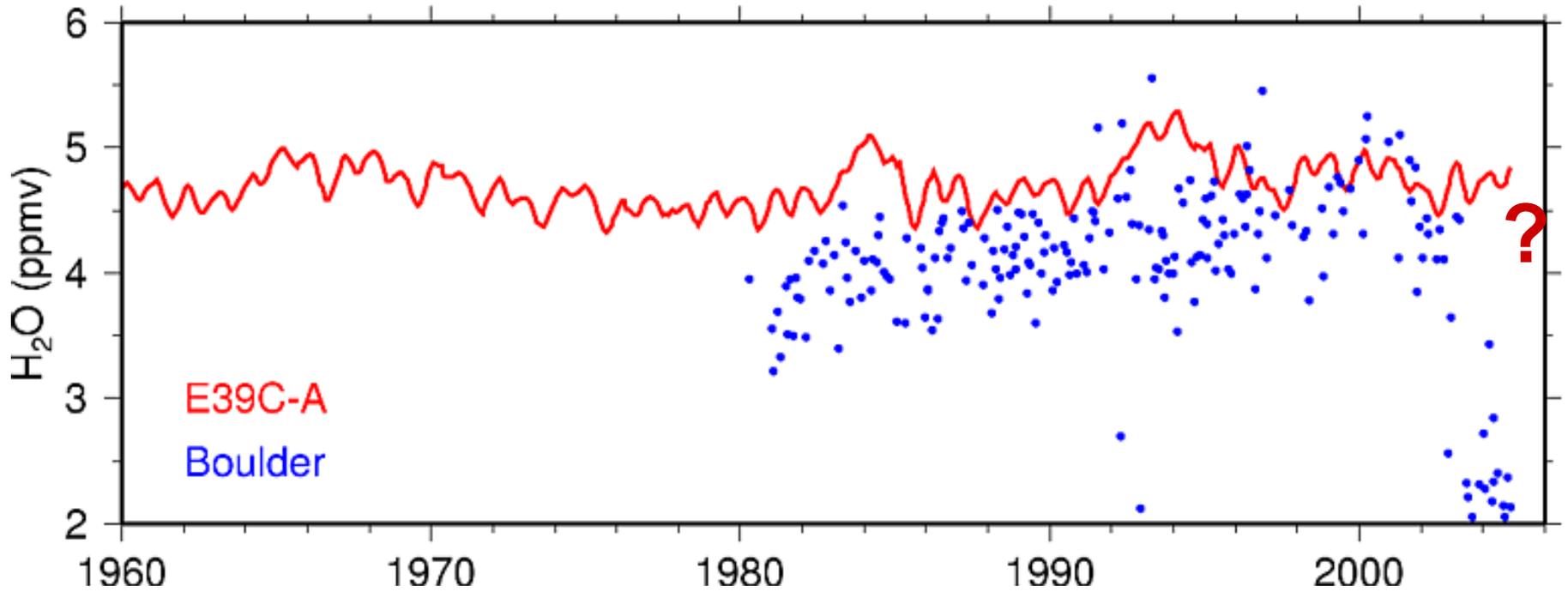
## Einfluss zukünftiger Änderungen des Wasserdampfgehalts auf die Ozonchemie



# Kapitel 12: Gliederung

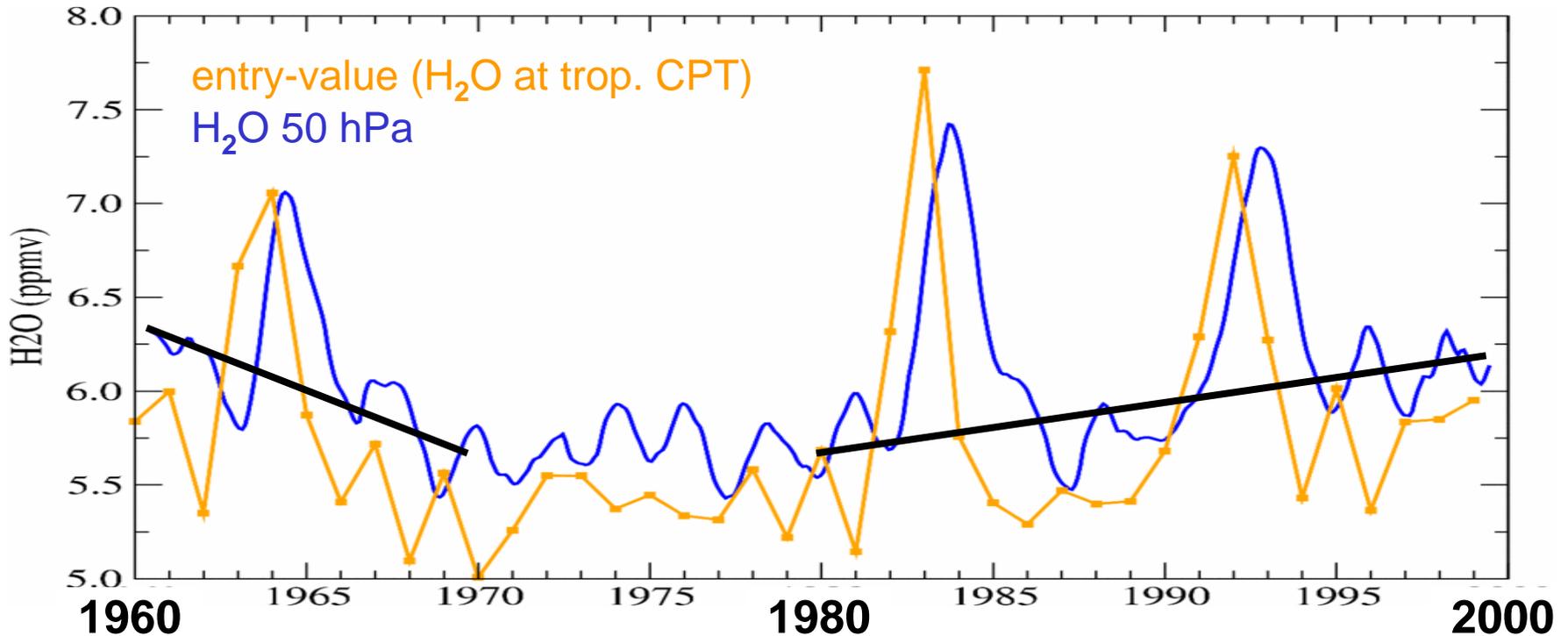
- Einleitung
- Aktuelle Forschungsergebnisse
- Einfluss eines erhöhten Wasserdampfgehalts auf das Ozonbudget
- Einfluss eines erhöhten Wasserdampfgehalts auf den OH-Gehalt
- Einfluss eines erhöhten Wasserdampfgehalts auf polare Stratosphärenwolken

# Wasserdampf im Modell (E39C-A) und Beobachtungen



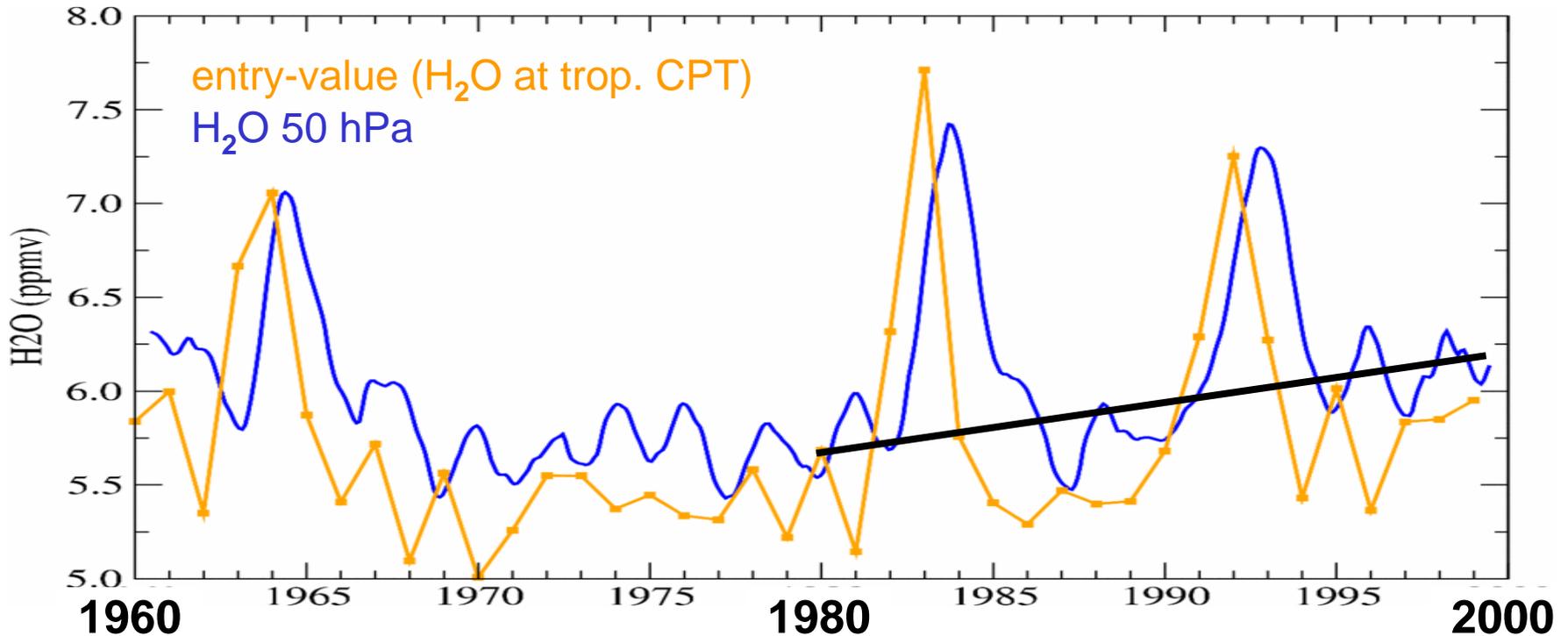
➤ E39C-A und HALOE 1960-2004

# Wasserdampf im Modell (E39C)



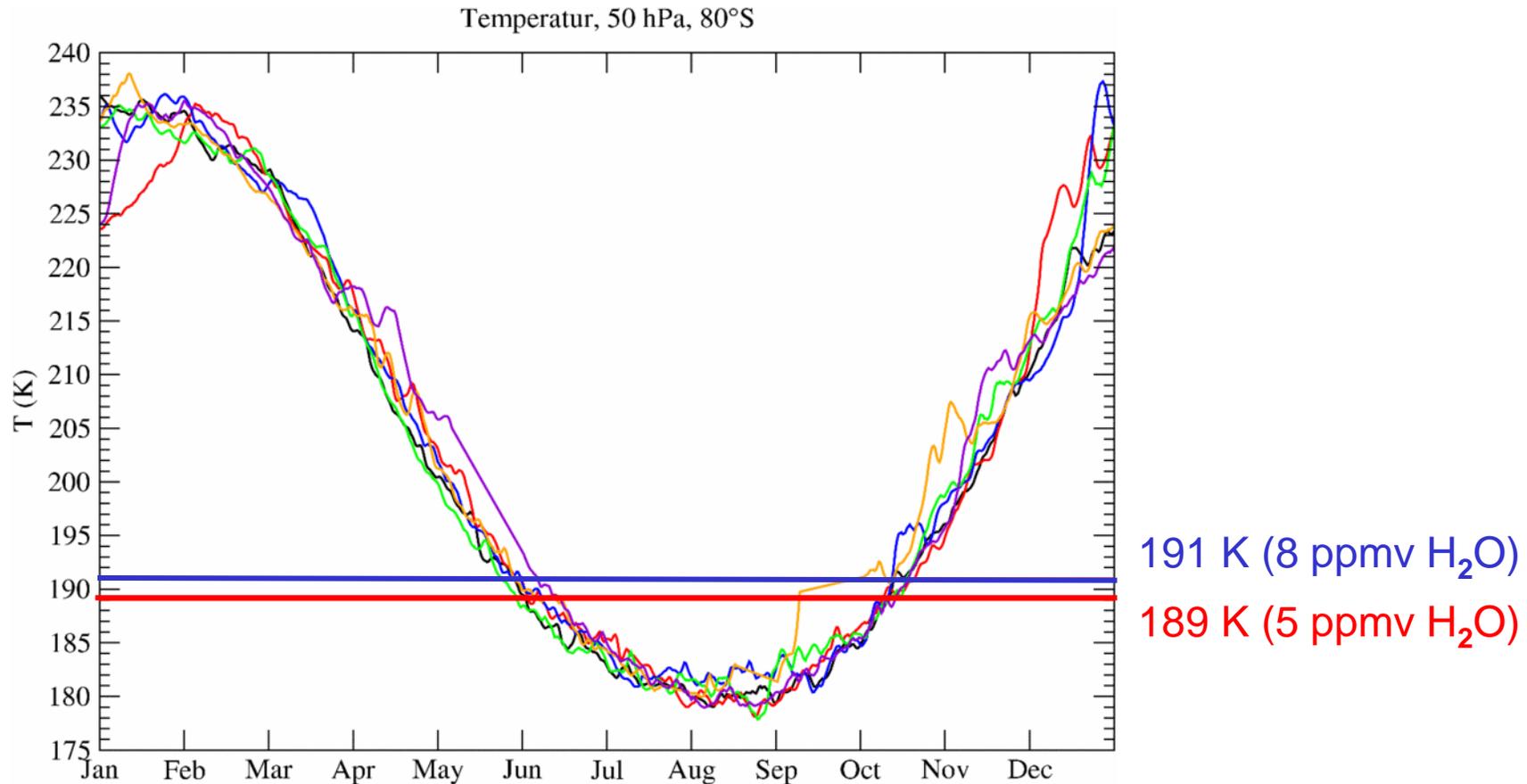
- Strong link between entry-value ( $\Rightarrow$ tropical CPT) and H<sub>2</sub>O in LS.
- Cooling of tropical tropopause between 1960 and 1970.
- Warming between 1980 and 2000.

# Wasserdampf im Modell (E39C)



- Simulated increase of entry-value since 1980:  $\approx 0.02$  ppmv/yr
- Increased H<sub>2</sub>O production due to CH<sub>4</sub> oxidation since 1980:  $\approx 0.01$  ppmv/yr

# Einfluss des Wasserdampfanstiegs auf das Ozonbudget

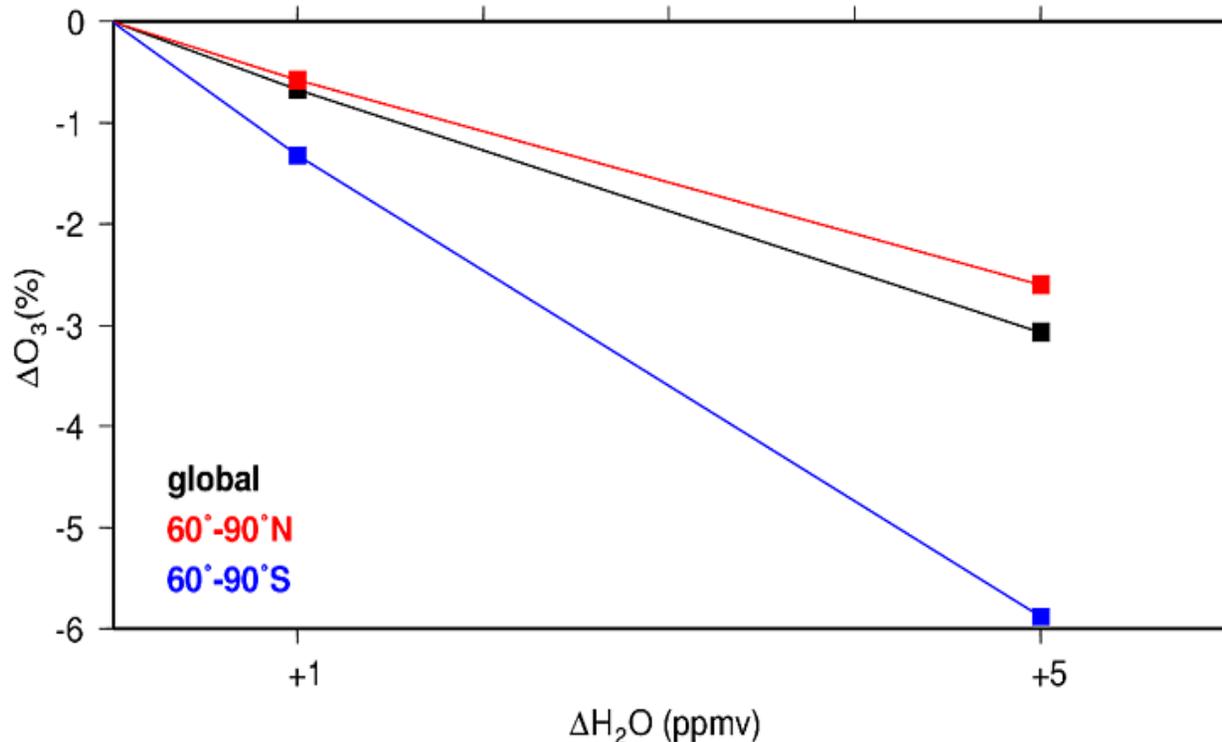


Water vapour increase affects the chemical composition of atmosphere:

- Increase of HO<sub>x</sub> ⇒ coupling processes between HO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> / ClO<sub>x</sub> ⇒ enhanced catalytic ozone loss.
- Increase of saturation temperature ⇒ PSC area / existence period.

# Einfluss des Wasserdampfanstiegs auf das Ozonbudget

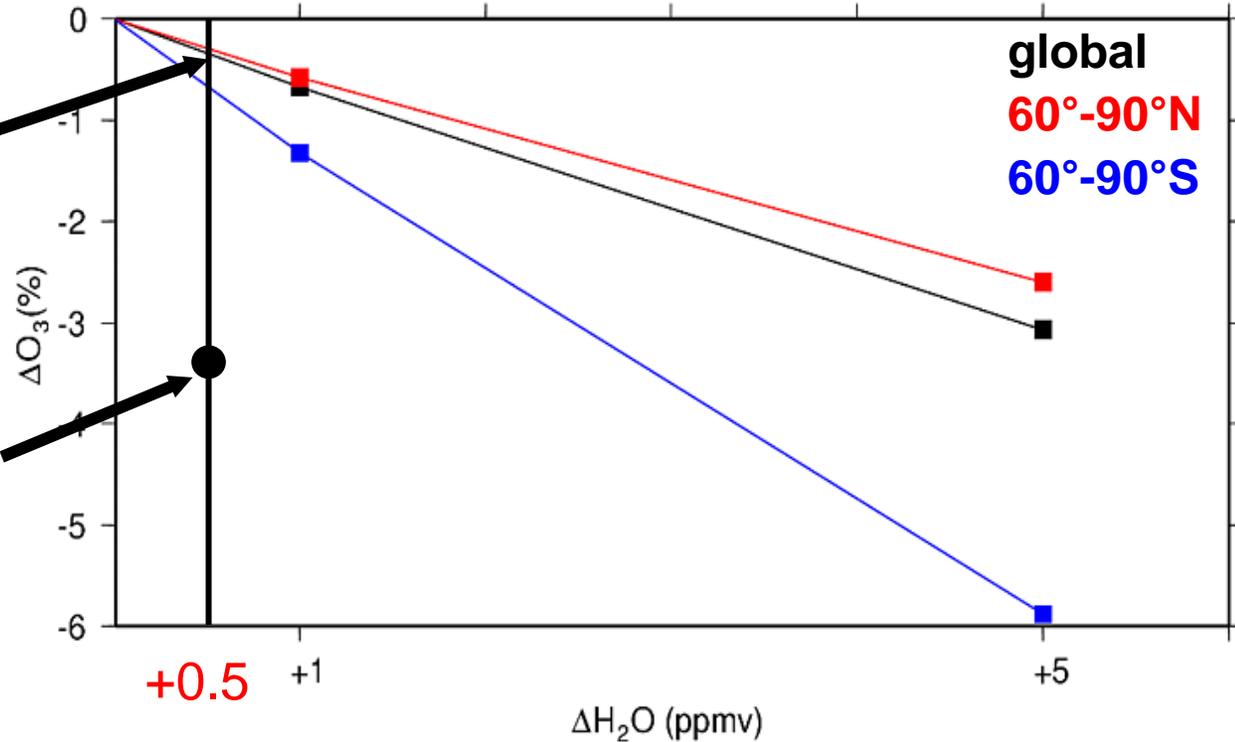
- Um den Einfluss des Wasserdampfgehalts auf das globale Ozonbudget zu quantifizieren wurden numerische Sensitivitätsexperimente mit einer idealisierten stratosphärischen Wasserdampfstörung von +1 ppmv bzw. +5 ppmv durchgeführt:



# Einfluss des Wasserdampfanstiegs auf das Ozonbudget

➤ Linear O<sub>3</sub> response ⇒  
global O<sub>3</sub> loss: ≈ 0.4%  
*“only H<sub>2</sub>O”*

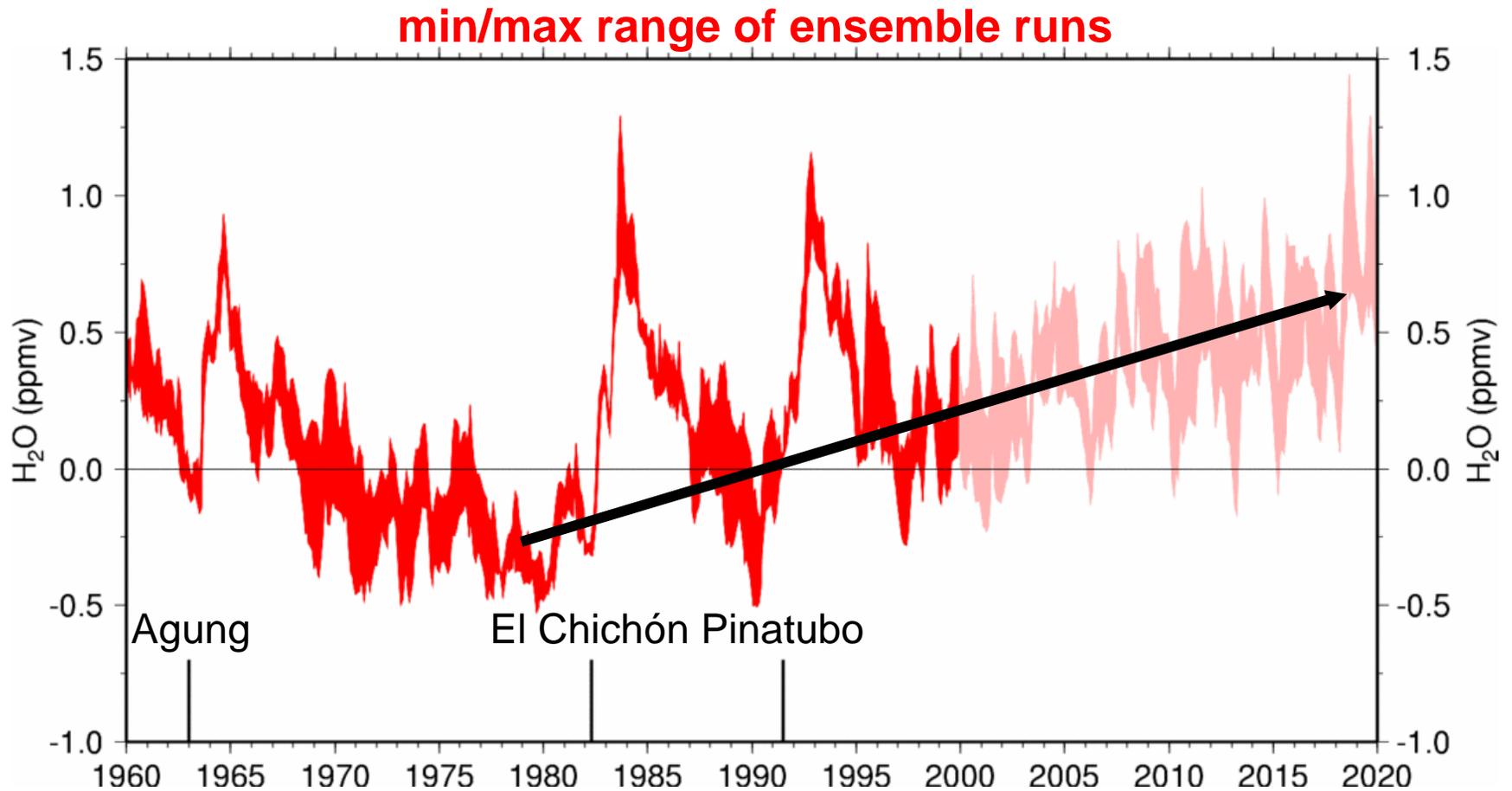
➤ Simulated global O<sub>3</sub>  
loss 1980-2000: ≈ 3.4%  
*“climate change”*



➤ Simulated H<sub>2</sub>O increase 1980-2000:  
≈ 0.5 ppmv

⇒ **10-15% des simulierten Ozonabbaus sind durch den simulierten Anstieg des Wasserdampfgehalts verursacht!**

# Simulierte Wasserdampf anomalien (50 hPa, 40°N)



## Fazit (Stenke und Grewe, 2005)

- Das Modell reproduziert die beobachteten Variationen des Wasserdampfgehalts in der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre.
- Es ergibt sich eine Umkehr des Wasserdampftrends in der unteren Stratosphäre zwischen 1960 und 2000.
- Der simulierte Anstieg des stratosphärischen Wasserdampfgehalts von 1980 bis 2000 setzt sich bis 2020 fort.

## Fazit (Stenke und Grewe, 2005)

- Variationen des Wasserdampfgehalts sind eng mit der Temperatur an der tropischen Tropopause verknüpft.
- Die Methanoxidation ist für etwa 30% des Wasserdampfanstiegs verantwortlich.
- Der Anstieg des Wasserdampfgehalts beeinflusst den katalytischen Ozonabbau und die Bildung von PSCs.
- Der simulierte Wasserdampfanstieg hat zu etwa 10-15% des globalen Ozonverlustes (1980-2000) beigetragen.

# Wirkung von Wasserdampfänderungen auf den Ozongehalt

- Es ist schwierig die Größe der vergangenen Änderungen der stratosphärischen Wasserdampfkonzentration abzuschätzen (siehe Kapitel 5) und auch die zukünftigen Veränderungen sind sehr unklar.
- Die Wasserdampfkonzentrationen bleiben möglicherweise ähnlich den heutigen Werte oder steigen an.
- Beispiel: Die meisten Simulationen mit CCMs zeigen in der Zukunft einen Anstieg der stratosphärischen Wasserdampfkonzentrationen (siehe oben).
- Im folgenden werden die Folgerungen und Wirkungen eines möglichen zukünftigen Anstiegs der Wasserdampfkonzentrationen für den Ozongehalt diskutiert.

# Wirkung von Wasserdampfänderungen auf den Ozongehalt

- Ein positiver Trend im stratosphärischen Wasserdampfgehalt würde die stratosphärische Chemie im Hinblick auf die Ozonproduktion sowie den Ozonabbau beeinflussen.
- Ein Anstieg des Wasserdampfgehalts würde zu einem Anstieg der Radikale der Wasserstoffoxide ( $\text{HO}_x$ ) führen, was die Ozonverlustprozesse beeinflusst.
- Die  $\text{HO}_x$  Chemie ist die primäre Senke für Ozon in der unteren Stratosphäre (Wennberg et al., 1994; 1998), außer in den Polgebieten.

Wennberg, P.O., R.C. Cohen, R.M. Stimpfle, et al., Removal of stratospheric  $\text{O}_3$  by radicals: In situ measurements of OH,  $\text{H}_2\text{O}$ , NO,  $\text{NO}_2$ , ClO, and BrO, *Science*, 266 (5184), 398-404, 1994.

Wennberg, P.O., T.F. Hanisco, L. Jaeglé, et al., Hydrogen radicals, nitrogen radicals, and the production of  $\text{O}_3$  in the upper troposphere, *Science*, 279 (5347), 49-53, 1998.

# Wirkung von Wasserdampfänderungen auf den Ozongehalt

- Zusätzlich konnte mittels einzelner Ballon gestützter Messungen im Zusammenhang mit photochemischen Boxmodellrechnungen die besondere Bedeutung, die  $\text{HO}_x$  in der Stratosphäre und unteren Mesosphäre spielt, gezeigt werden (Osterman et al., 1997; Jucks et al., 1998).

Osterman, G.B., R.J. Salawitch, B. Sen, G.C. Toon, R.A. Stachnik, H.M. Pickett, J.J. Margitan, J.-F. Blavier, und D.B. Peterson, Balloon-borne measurements of stratospheric radicals and their precursors: Implications for the production and loss of ozone, *Geophys. Res. Lett.*, 24 (9), 1107-1110, 1997.

Jucks, K.W., D.G. Johnson, K.V. Chance, W.A. Traub, J.J. Margitan, G.B. Osterman, R.J. Salawitch, und Y. Sasano, Observations of OH,  $\text{HO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , and  $\text{O}_3$  in the upper stratosphere: implications for  $\text{HO}_x$  photochemistry, *Geophys. Res., Lett.*, 25 (21), 3935-3938, 1998.

# Wirkung von Wasserdampfänderungen auf den Ozongehalt

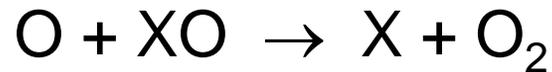
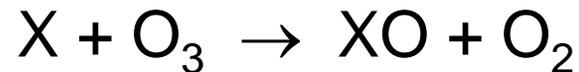
- Evans et al. (1998) untersuchten den Effekt erhöhter Wasserdampfkonzentrationen auf Ozon und fanden heraus, dass eine erhöhte Feuchte in der mittleren Stratosphäre zu einem höheren und in der oberen Stratosphäre zu einem niedrigeren Ozongehalt führt.

Evans, S.J., R. Toumi, J.E. Harries, M.P. Chipperfield, und J.M. Russell III, Trends in stratospheric humidity and the sensitivity of ozone to these trends, *J. Geophys. Res.*, 103 (D8), 8715-8725, 1998.

- Der Rückgang des Ozongehalts der oberen Stratosphäre wird durch den an Bedeutung gewinnenden katalytischen HO<sub>x</sub> Zyklus verursacht.

## Einschub: Katalytischer Ozonabbau

- Die katalytischen Zyklen des stratosphärischen Ozonabbaus sind von der Form:



wobei X die reduzierte und XO die oxidierte Form des Katalysators darstellen und X = OH, NO, Cl und Br sind. Diese Radikale entstehen in der Stratosphäre aus H<sub>2</sub>O, FCKW bzw. den Halonen (=Halogenkohlen-(wasser)stoffe).

# Wirkung von Wasserdampfänderungen auf den Ozongehalt

- Dvortsov und Solomon (2001) modellierten vergangene und zukünftig erwartete Änderungseffekte in einer Atmosphäre mit sich ändernden Konzentrationen von Treibhausgasen sowie von Chlor und Brom.
- Das Modell wurde ferner angetrieben mit einem jährlichen Anstieg des stratosphärischen Wasserdampfgehalts von 1%.
- Der Wasserdampftrend im Modell verstärkte den Ozontrend in den mittleren Breiten der Nordhemisphäre, vor allem durch einen verstärkten Ozonverlust in der unteren Stratosphäre durch einen erhöhten  $\text{HO}_x$  Gehalt und in der Folge einem  $\text{HO}_x$ -verstärkten Ozonverlust durch  $\text{ClO}_x$ . ( $\text{HCl} + \text{OH} \rightarrow \text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$ )

# Wirkung von Wasserdampfänderungen auf den Ozongehalt

- Aus dieser Studie folgt, dass ein Anstieg der stratosphärischen Feuchte von 1%/Jahr in diesem Jahrhundert den Ozonverlust über den katalytischen HO<sub>x</sub>-Zyklus verstärkt und die Erholung der Ozonschicht um etwa 10 Jahre verzögert.

Dvortsov, V.L., und S. Solomon, Response of the stratospheric temperatures and ozone to past and future increases in stratospheric humidity, *J. Geophys. Res.*, 106 (D7), 7505-7514, 2001.

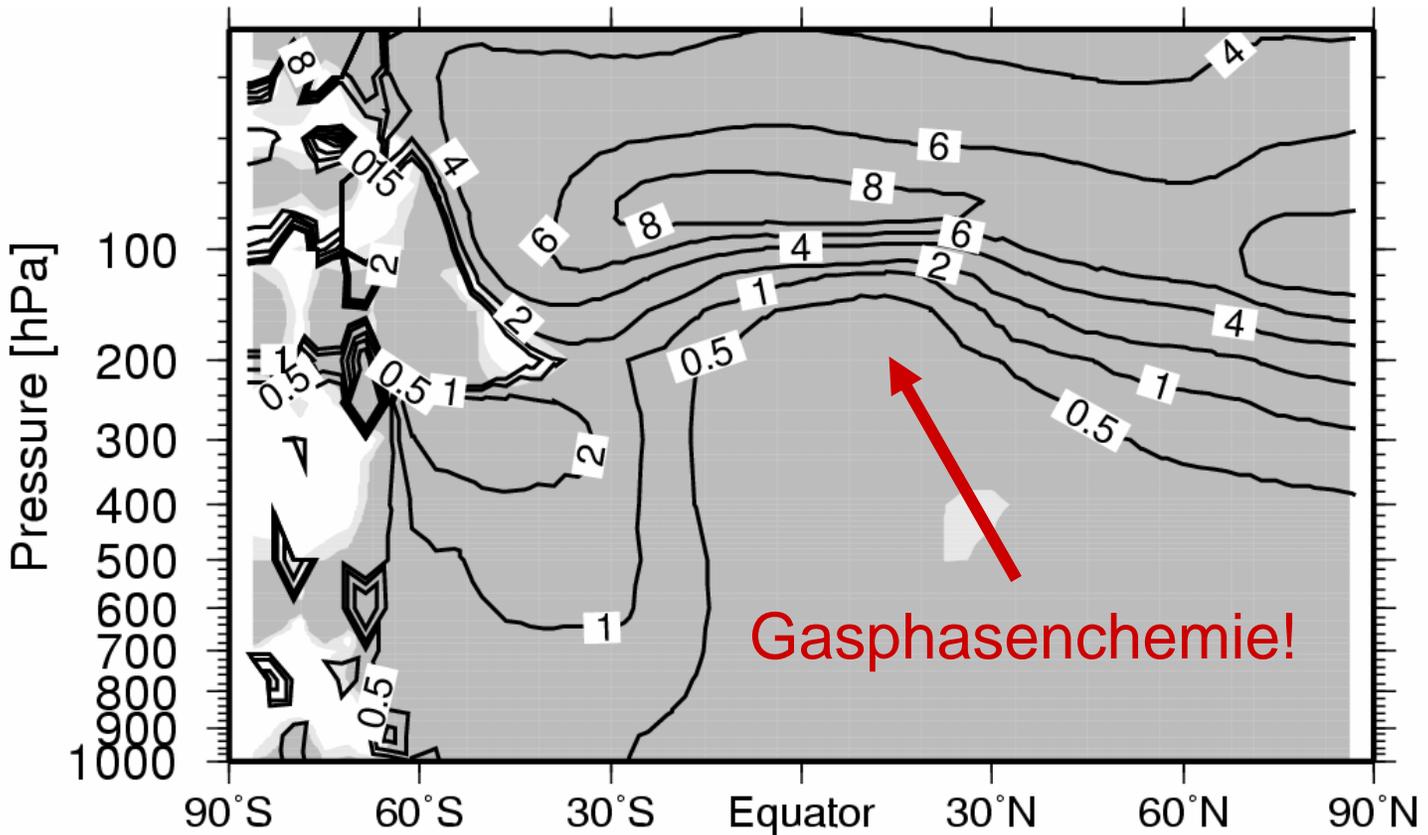
- Shindell (2001), der ein CCM verwendete, zeigte ebenfalls, dass sich unter der Annahme eines ähnlichen Wasserdampftrends die Erholung der Ozonschicht um etwa 15 Jahre verlangsamt.

Shindell, D.T., G.A. Schmidt, R.L. Miller, und D. Rind, Northern Hemisphere winter climate response to greenhouse gas, ozone solar and volcanic forcing, *J. Geophys. Res.*, 106 (D7), 7193-7210, 2001.

# Wirkung von Wasserdampfänderungen auf den OH-Gehalt

- Die CCM Studie von Stenke und Grewe (2005) ergab, dass ein um 1 ppmv erhöhter stratosphärischer Wasserdampfgehalt zu einem 5-10% Anstieg des OH-Gehalts in der tropischen unteren Stratosphäre zwischen 100 und 30 hPa führt (siehe folgende Abbildung).

# Wirkung von Wasserdampfänderungen auf den OH-Gehalt



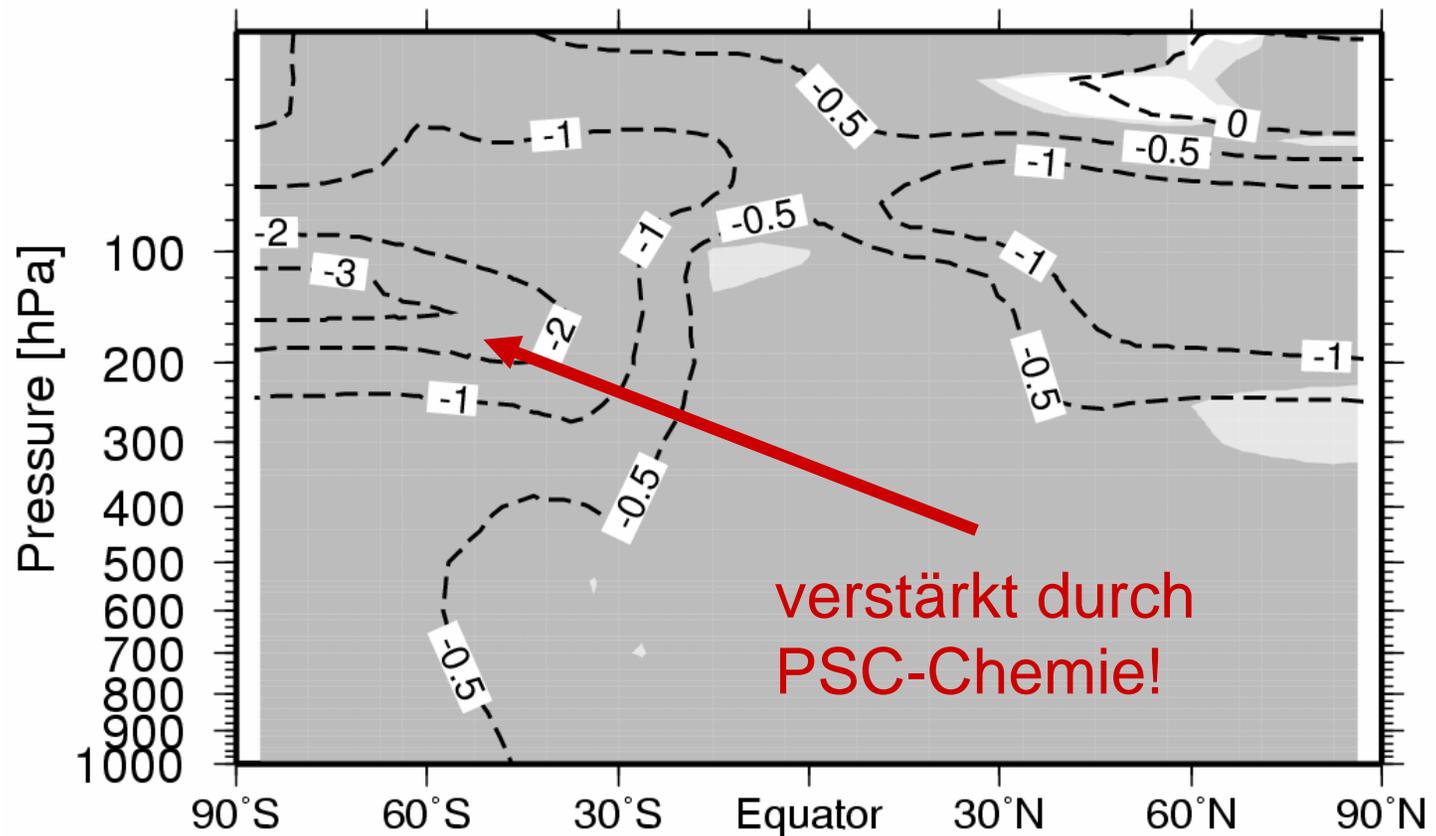
Impact of 1 ppmv water vapor perturbation above a baseline simulation in the CCM E39C. The figure shows the **percentage change in zonally and monthly averaged local OH**, during **southern winter** time (July). Light (dark) shading indicates regions in which differences are statistically significant at the 95% (99%) level (t-test) (from Stenke and Grewe, 2005).

# Wirkung von Wasserdampfänderungen auf den OH-Gehalt

- In dem Modell verursacht der OH-Anstieg eine Verstärkung des Ozonabbaus über den HO<sub>x</sub>-Zyklus um etwa 6%.
- Der Ozongehalt in der unteren Stratosphäre nimmt um 1-3% ab (siehe nachfolgende Abbildung) und reduziert die Ozongesamtsäule außerhalb der Polgebiete um weniger als 1% (siehe übernächste Abbildung).

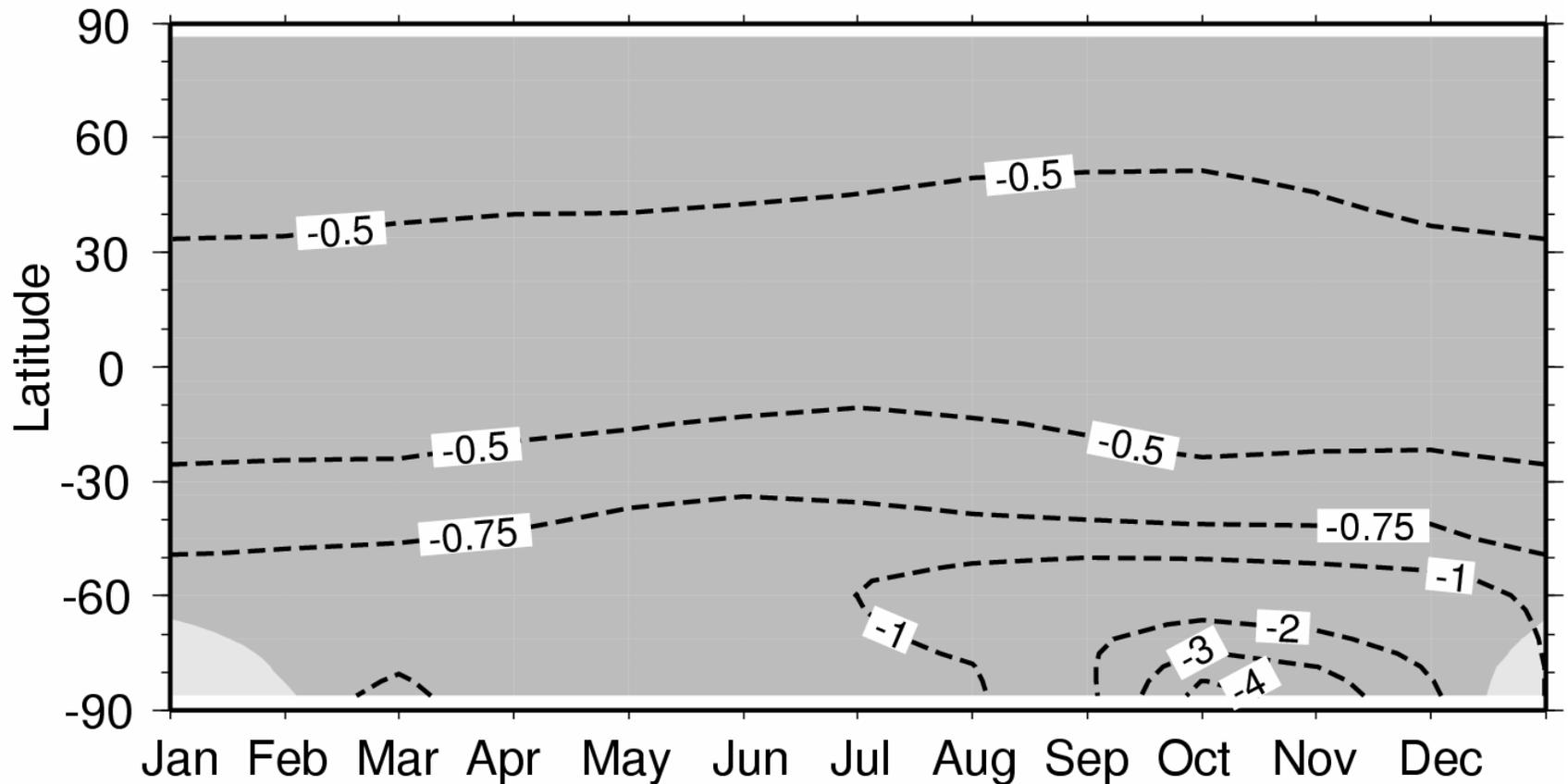
Stenke, A., und V. Grewe, Simulation of stratospheric water vapor trends: impact on stratospheric ozone chemistry, *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 1257-1272, 2005.

# Wirkung von Wasserdampfänderungen auf den Ozongehalt



Impact of 1 ppmv water vapor perturbation above a baseline simulation in the CCM E39C. The figure shows the **percentage change in zonally and monthly averaged local O<sub>3</sub>**, during **southern winter** time (July). Light (dark) shading indicates regions in which differences are statistically significant at the 95% (99%) level (t-test) (from Stenke and Grewe, 2005).

# Wirkung von Wasserdampfänderungen auf den Gesamtozongehalt



Impact of 1 ppmv water vapor perturbation above baseline simulation in the CCM E39C. This figure shows the **percentage change in zonally averaged total column ozone**. Light (dark) shading indicates regions in which differences are statistically significant at the 95% (99%) level (t-test) (from Stenke and Grewe, 2005).

# Wirkung von Wasserdampfänderungen auf polare Stratosphärenwolken

- Erhöhte Wasserdampfkonzentrationen können auch die polare Ozonzerstörung auf polaren Stratosphärenwolken (PSCs) beeinflussen (siehe oben).
- Erhöhte Wasserdampfkonzentrationen würden die kritische Temperatur erhöhen, unterhalb derer heterogene Reaktionen auf flüssigen Aerosolen wichtig werden (Kirk-Davidoff et al., 1999).

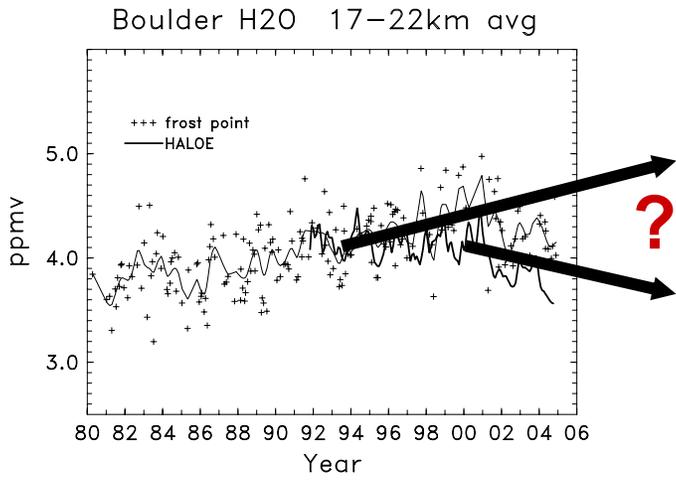
Kirk-Davidoff, D.B., E.J. Hints, J.G. Anderson, und D.W. Keith, The effect of climate change on ozone depletion through changes in stratospheric water vapour, *Nature*, 402 (6760), 399-401, 1999.

# Wirkung von Wasserdampfänderungen auf polare Stratosphärenwolken

- Tabazadeh et al. (2000) schätzen ab, dass die Zunahme der PSC-Bildung bei einem erhöhten Wasserdampfmischungsverhältnis von 1 ppmv etwa gleich ist wie die Zunahme der PSC-Bildung bei einer strahlungsbedingten Abkühlung von 1°C.

Tabazadeh, A., M.L. Santee, M.Y. Danilin, H.C. Pumphrey, P.A. Newman, P.J. Hamill, und J.L. Mergenthaler, Quantifying denitrification and its effect on ozone recovery, *Science*, 288 (5470), 1407-1411, 2000.

- Stenke and Grewe (2005) schlossen aus ihren Analysen, dass der Anstieg des stratosphärischen Wasserdampfgehalts zu einem verstärkten heterogenen Ozonabbau im antarktischen Frühling führt, da die PSCs unter diesen Bedingungen länger existieren (siehe letzte Abbildung).



**Ende Kapitel 12**