

# Höhere tropische Meeresoberflächentemperaturen verstärken das tropische Aufsteigen mittels hochreichender Konvektion

***Rudolf Deckert***

***Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
Institut für Physik der Atmosphäre***



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Bonn, 6. Oktober 2009



# Höhere tropische Meeresoberflächentemperaturen verstärken das tropische Aufsteigen mittels hochreichender Konvektion

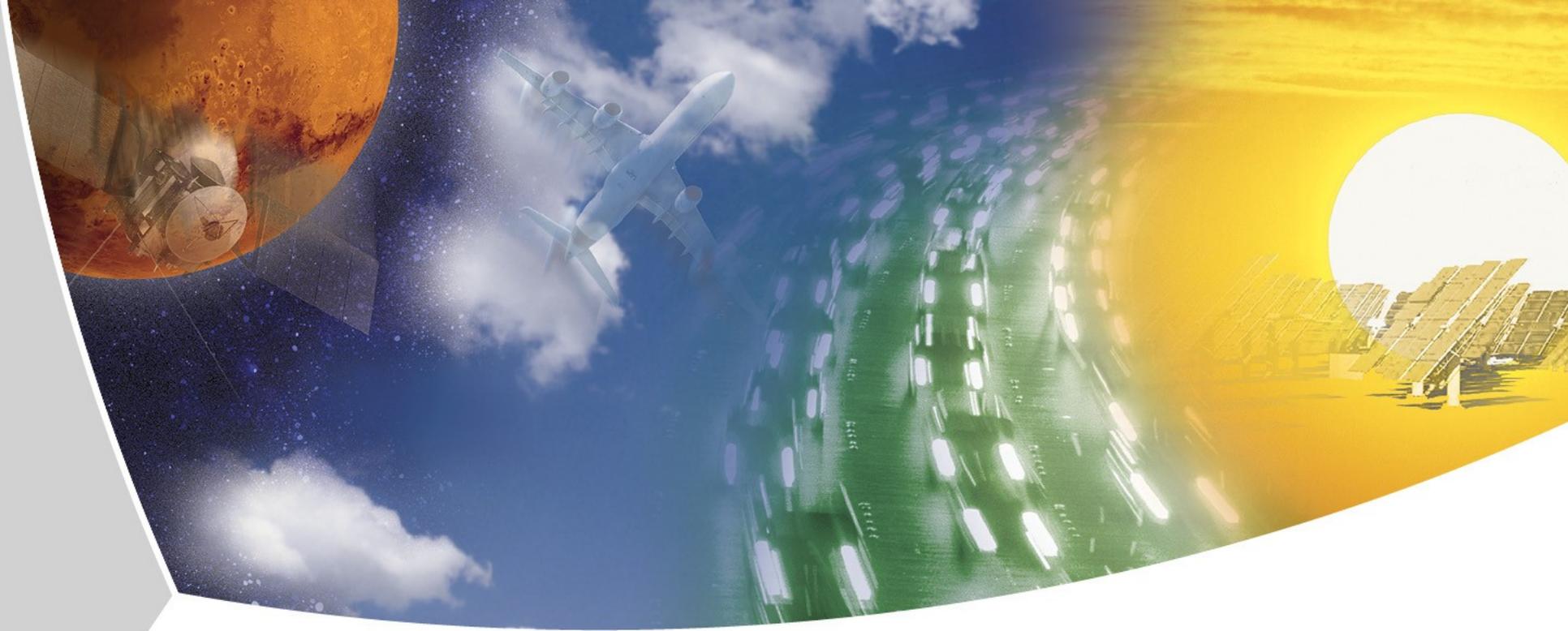
***Rudolf Deckert***

***Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
Institut für Physik der Atmosphäre***



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Bonn, 6. Oktober 2009



# Tropische Meere und stratosphärischer Transport

***Rudolf Deckert***

***Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
Institut für Physik der Atmosphäre***



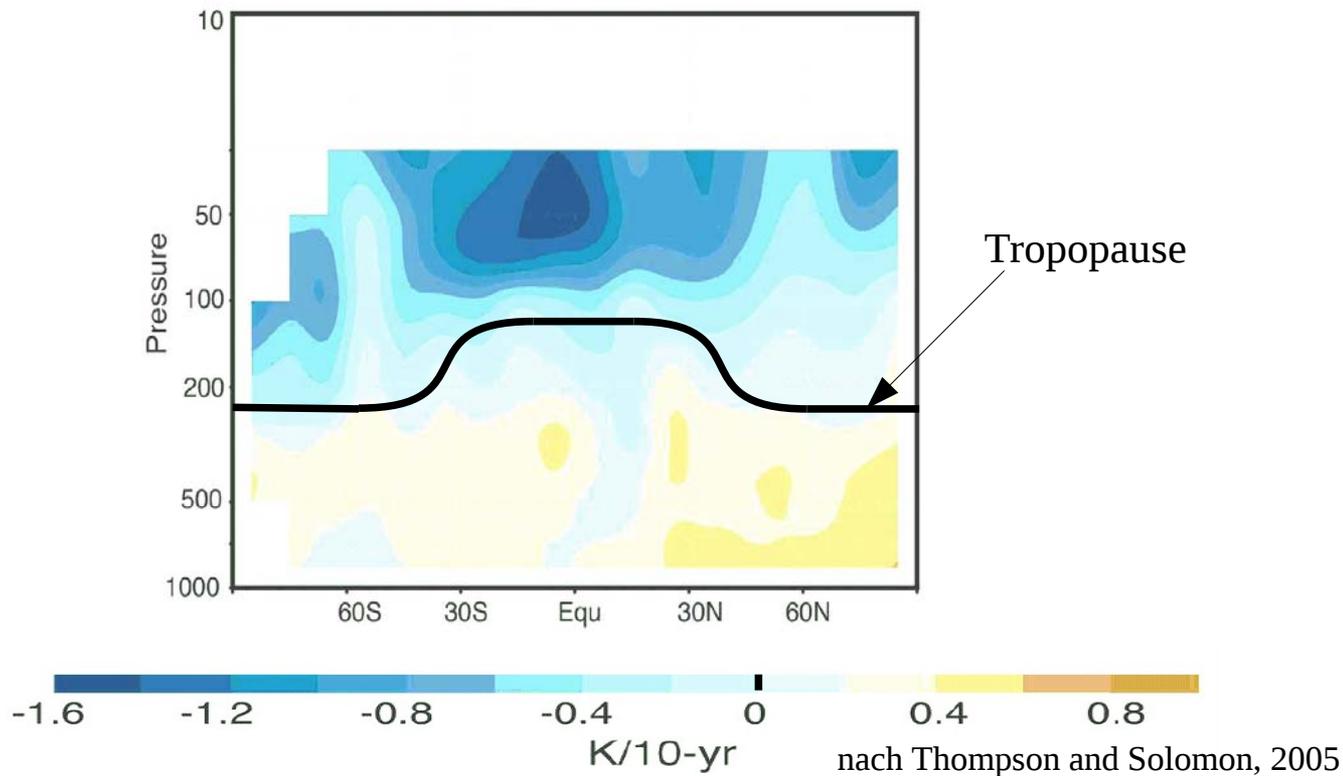
DLR

Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Bonn, 6. Oktober 2009

# Einleitung

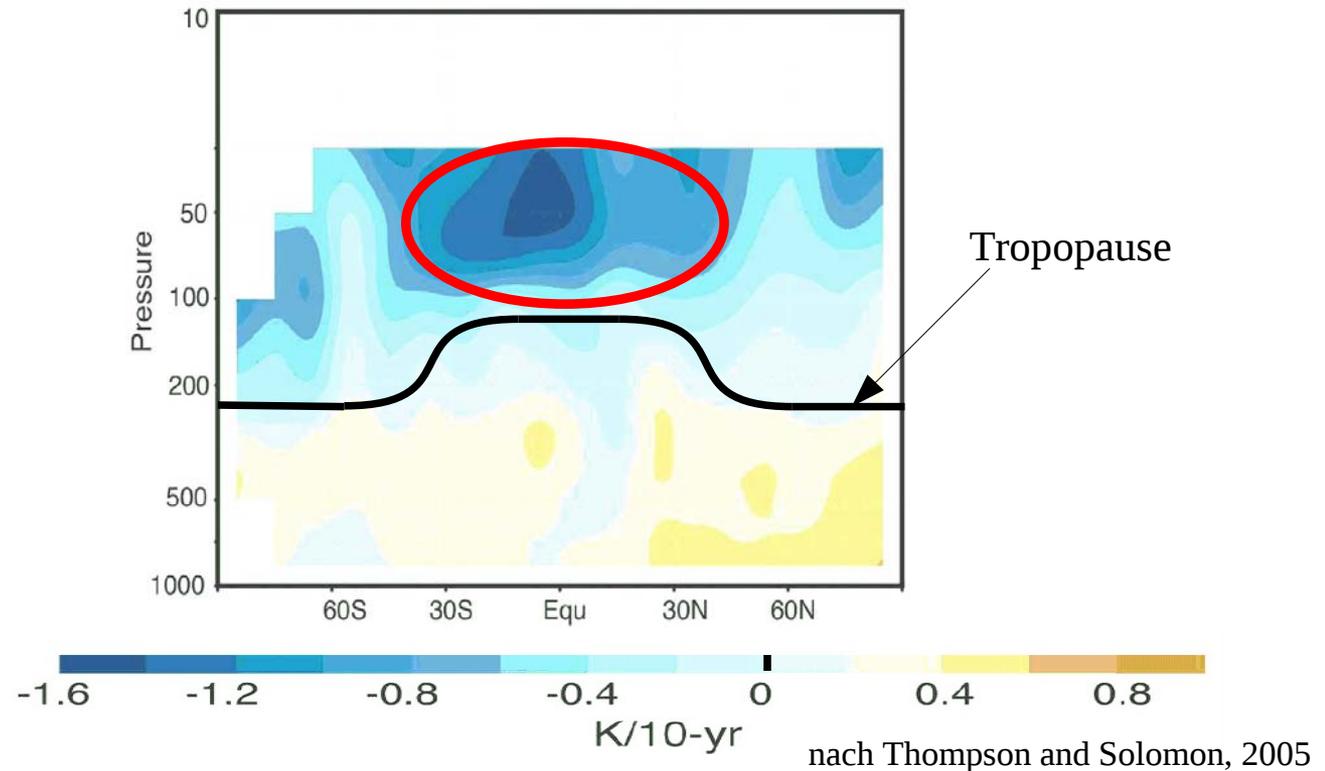
Trend Temperatur  
Jahresmittel 1979-2003  
Radiosonden



# Einleitung

## Tropische untere Stratosphäre

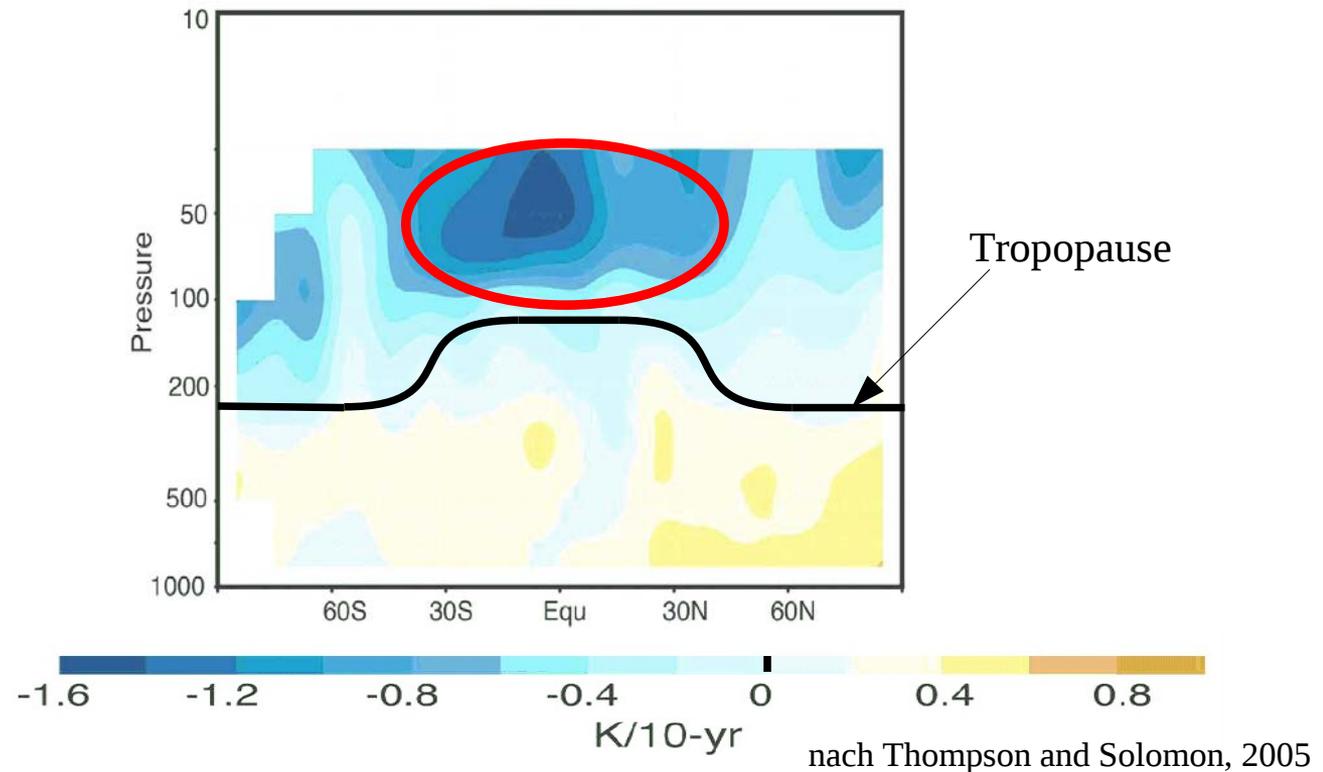
- Maximum Abkühlung



# Einleitung

## Tropische untere Stratosphäre

- Maximum Abkühlung
- Maximum Ozonverlust (z.B. Randel et al., 2006)

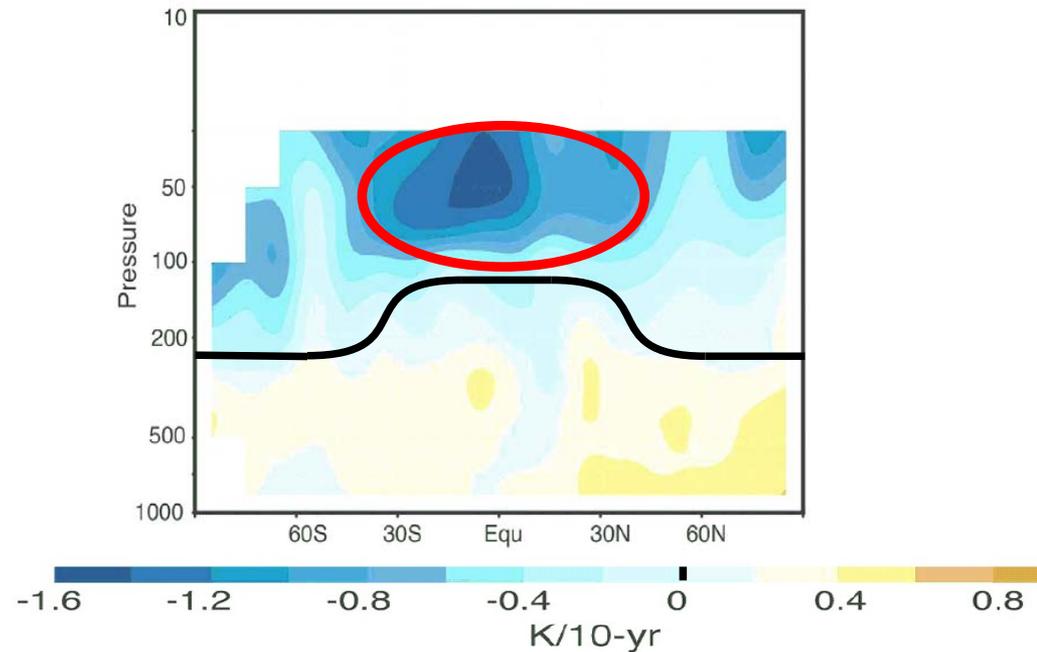


# Einleitung

## Tropische untere Stratosphäre

- Maximum Abkühlung
- Maximum Ozonverlust (z.B. Randel et al., 2006)

Hypothese: stärkeres tropisches Aufsteigen



nach Thompson and Solomon, 2005





# Einleitung

Hypothese gestützt durch Klimamodelle

- Im wärmeren Klima stärkeres tropisches Aufsteigen





# Einleitung

Hypothese gestützt durch Klimamodelle

- Im wärmeren Klima stärkeres tropisches Aufsteigen

Klimamodelle - welcher Mechanismus?

- Im wärmeren Klima stärkere Dissipation planetarer Wellen
- Wellenimpuls Troposphäre → Massentransport Stratosphäre





# Einleitung

Hypothese gestützt durch Klimamodelle

- Im wärmeren Klima stärkeres tropisches Aufsteigen

Klimamodelle - welcher Mechanismus?

- Im wärmeren Klima stärkere Dissipation planetarer Wellen
- Wellenimpuls Troposphäre → Massentransport Stratosphäre

# Auf welche Weise?



# Einleitung

<http://cimss.ssec.wisc.edu>



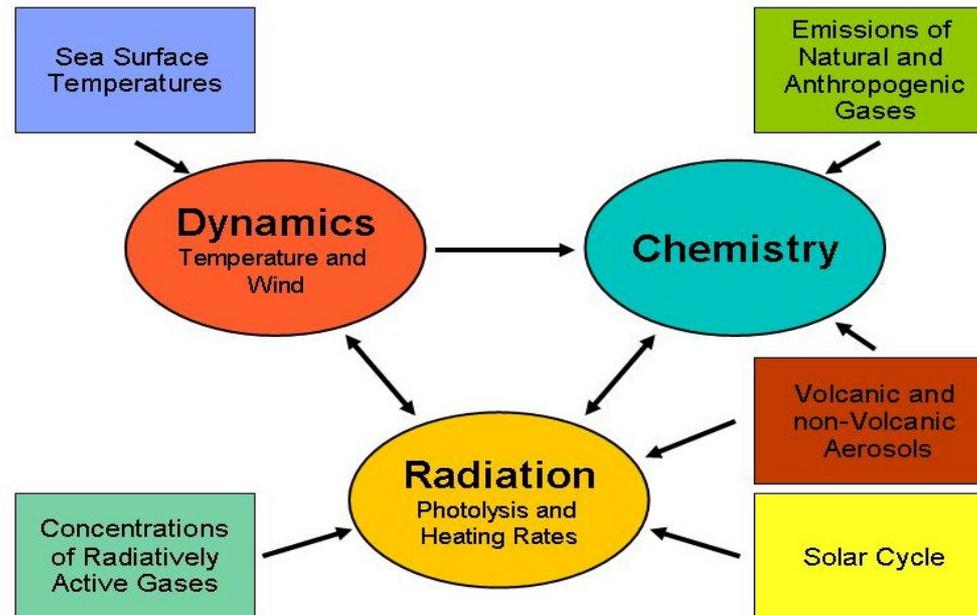
Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Institut für Physik der Atmosphäre

# Modellszenarien

## Klima-Chemie Modell ECHAM39/CHEM (E39/C)

- Dynamik und Chemie voll gekoppelt über Strahlung
- Multi-dekadische Simulationen



# Modellszenarien

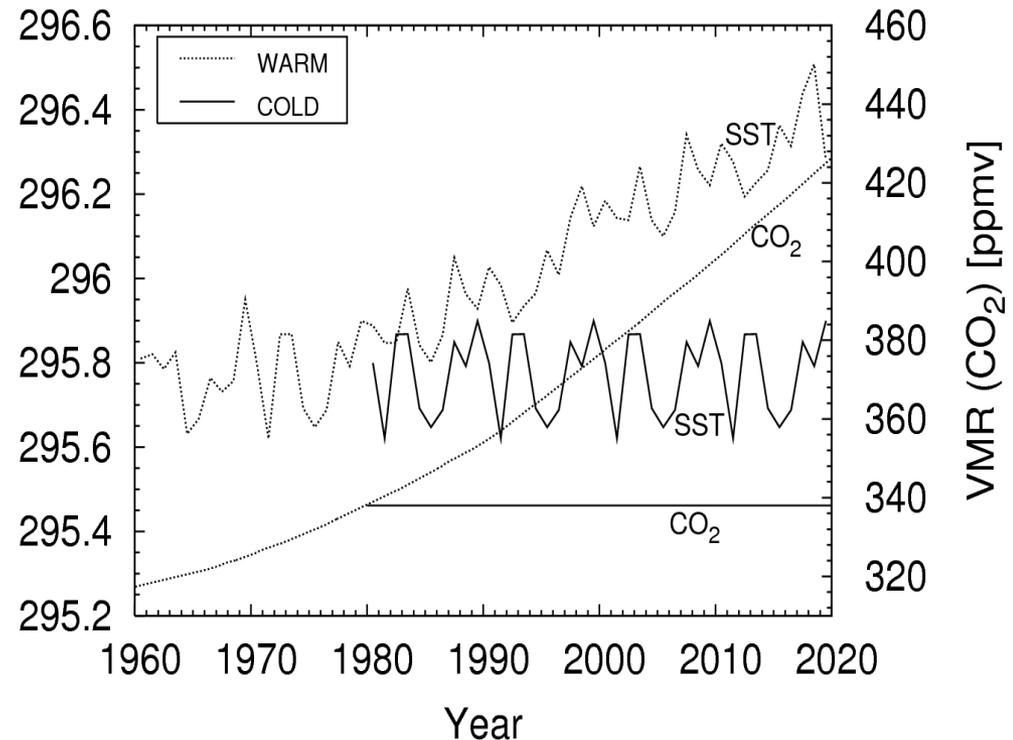
## Wärmeres Szenario (3x)

- Konzentration gut durchmischter Treibhausgase nach A1b in IPCC (2001)
- Temp. Meeresoberfläche ebenso

## Kälteres Szenario (2x)

- Konzentration gut durchmischter Treibhausgase auf 1980
- Temp. Meeresoberfläche von 1970 bis 1979 zyklisch wiederholt

SST [K]



# Modellszenarien

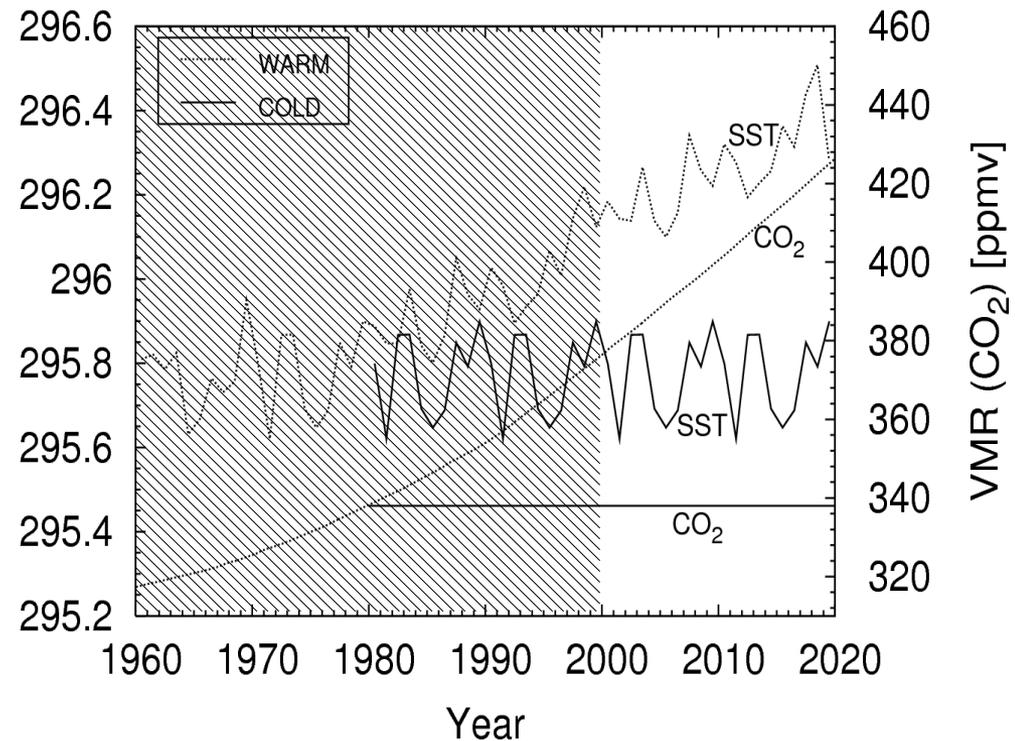
## Wärmeres Szenario (3x)

- Konzentration gut durchmischter Treibhausgase nach A1b in IPCC (2001)
- Temp. Meeresoberfläche ebenso

## Kälteres Szenario (2x)

- Konzentration gut durchmischter Treibhausgase auf 1980
- Temp. Meeresoberfläche von 1970 bis 1979 zyklisch wiederholt

SST [K]



Zeige Anomalien *wärmer* minus *kälter* für Mittelungszeitraum 2000-2019

Robustheit der Anomalien: 3x*wärmer* gegen 2x*kälter*



# Ergebnis

## Eliassen-Palm (EP) Diagnostik

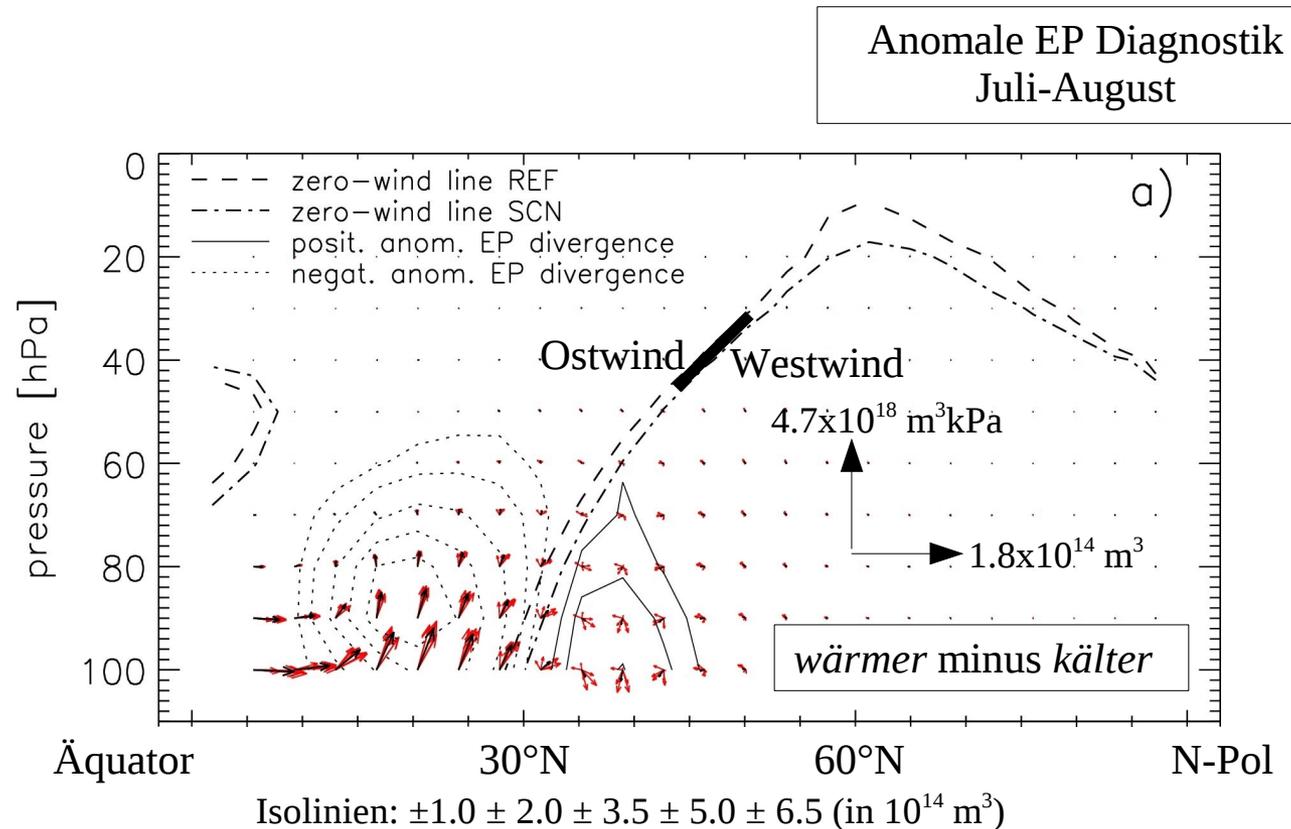
- Wellenaktivität: EP-Fluß
- Wellendissipation: EP-Fluß Divergenz



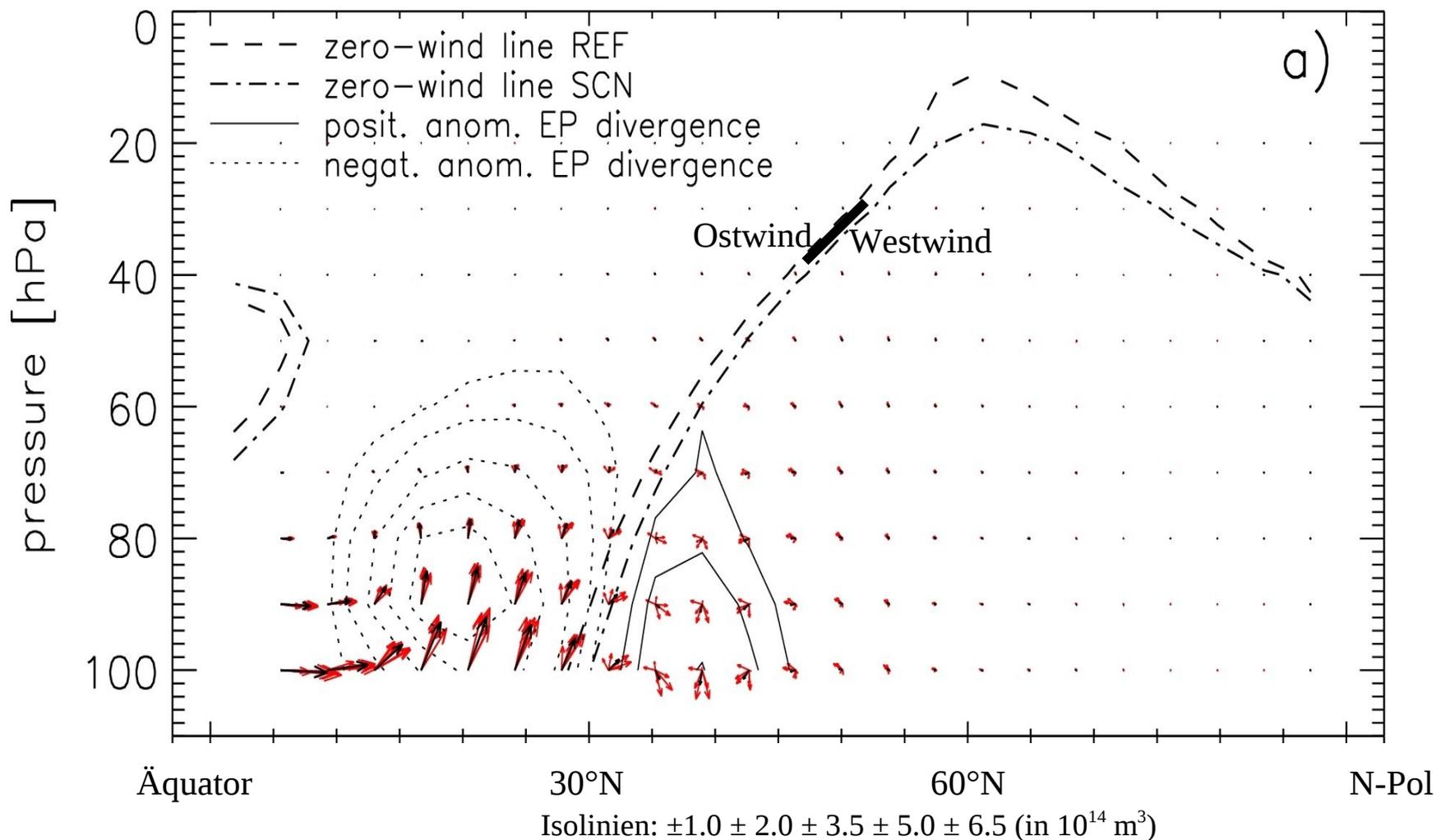
# Ergebnis

## Eliassen-Palm (EP) Diagnostik

- Wellenaktivität: EP-Fluß
- Wellendissipation: EP-Fluß Divergenz



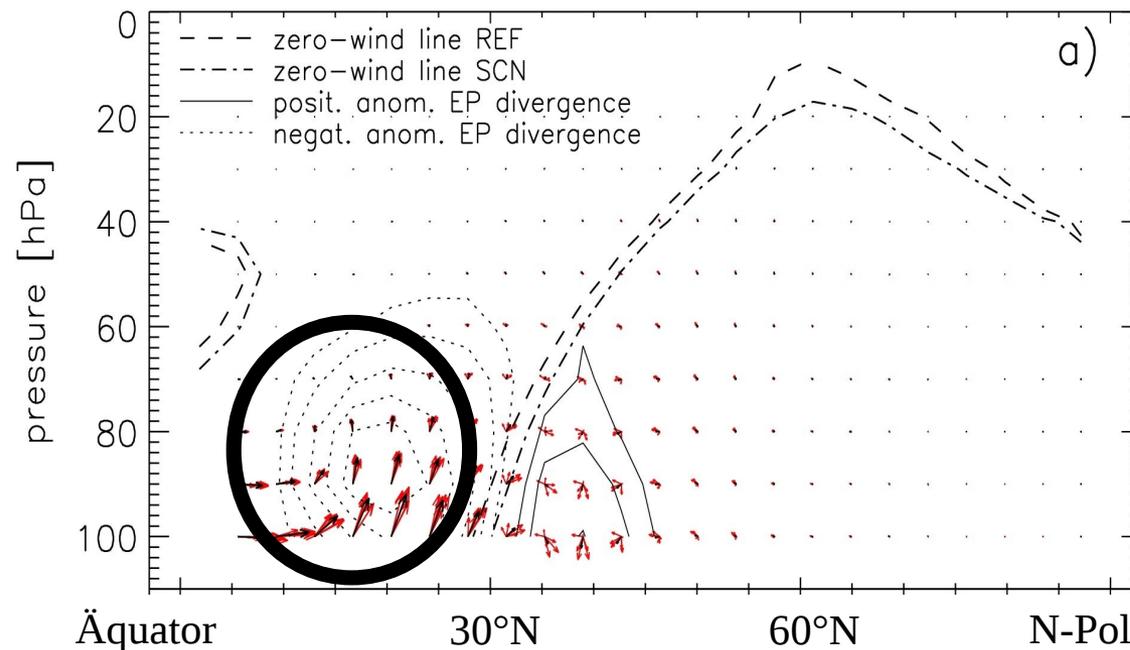
# Ergebnis



# Ergebnis

Im wärmeren Klima

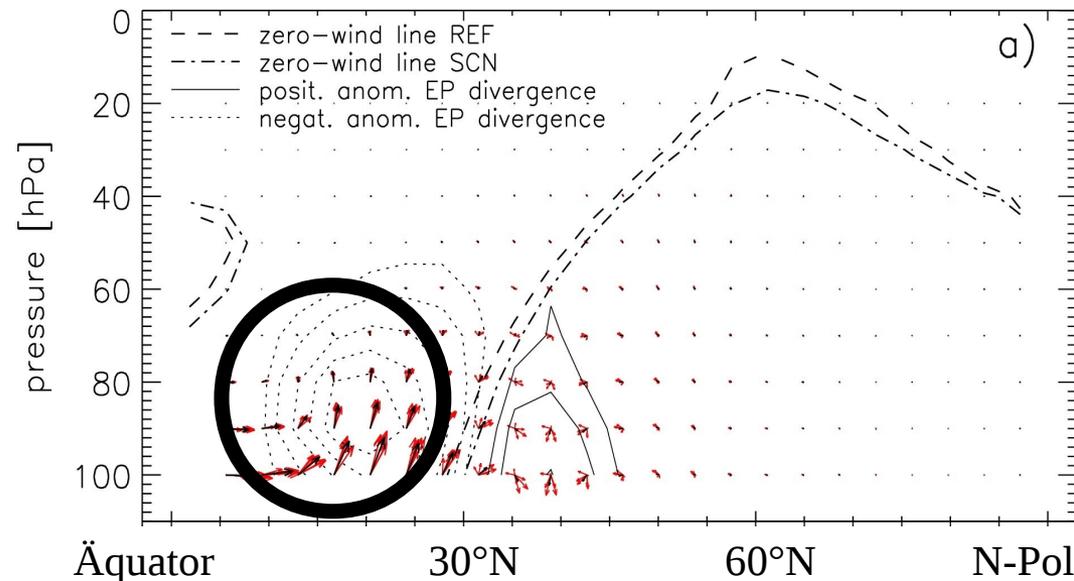
- Stärkere Dissipation planetarer Wellen in niedrigen Breiten untere Stratosphäre



# Ergebnis

## Im wärmeren Klima

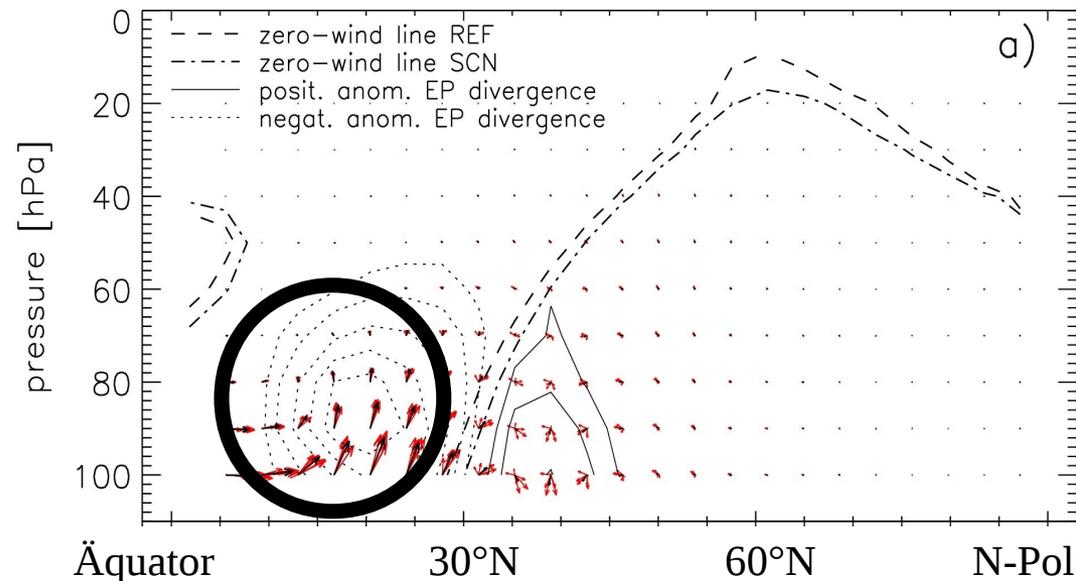
- Stärkere Dissipation planetarer Wellen in niedrigen Breiten untere Stratosphäre
- → Verstärktes tropisches Aufsteigen



# Ergebnis

## Im wärmeren Klima

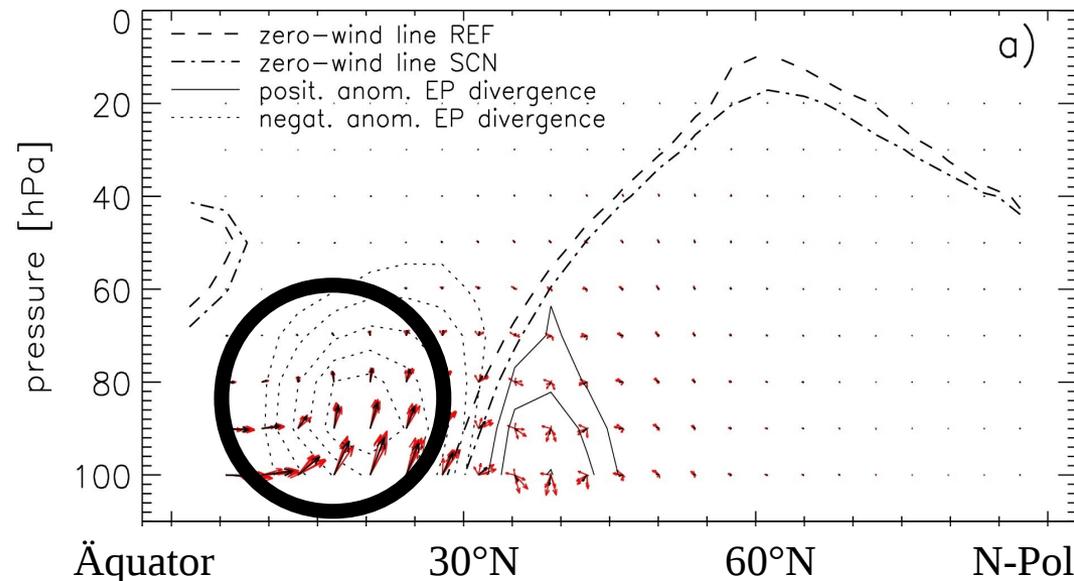
- Stärkere Dissipation planetarer Wellen in niedrigen Breiten untere Stratosphäre
- → Verstärktes tropisches Aufsteigen
- Beide Sommerhemisphären



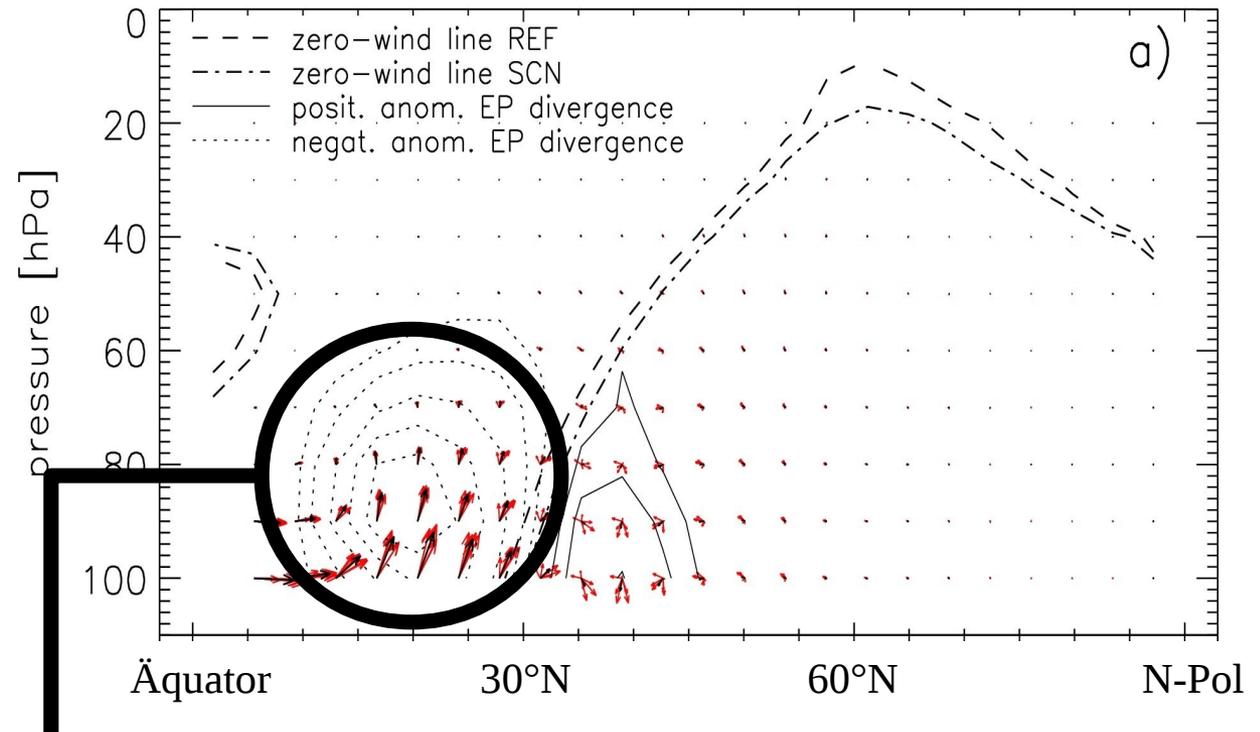
# Ergebnis

## Im wärmeren Klima

- Stärkere Dissipation planetarer Wellen in niedrigen Breiten untere Stratosphäre
- → Verstärktes tropisches Aufsteigen
- Beide Sommerhemisphären
- Siehe Modellstudien Fomichev et al. (2007) und Rind et al. (2002)



# Ergebnis

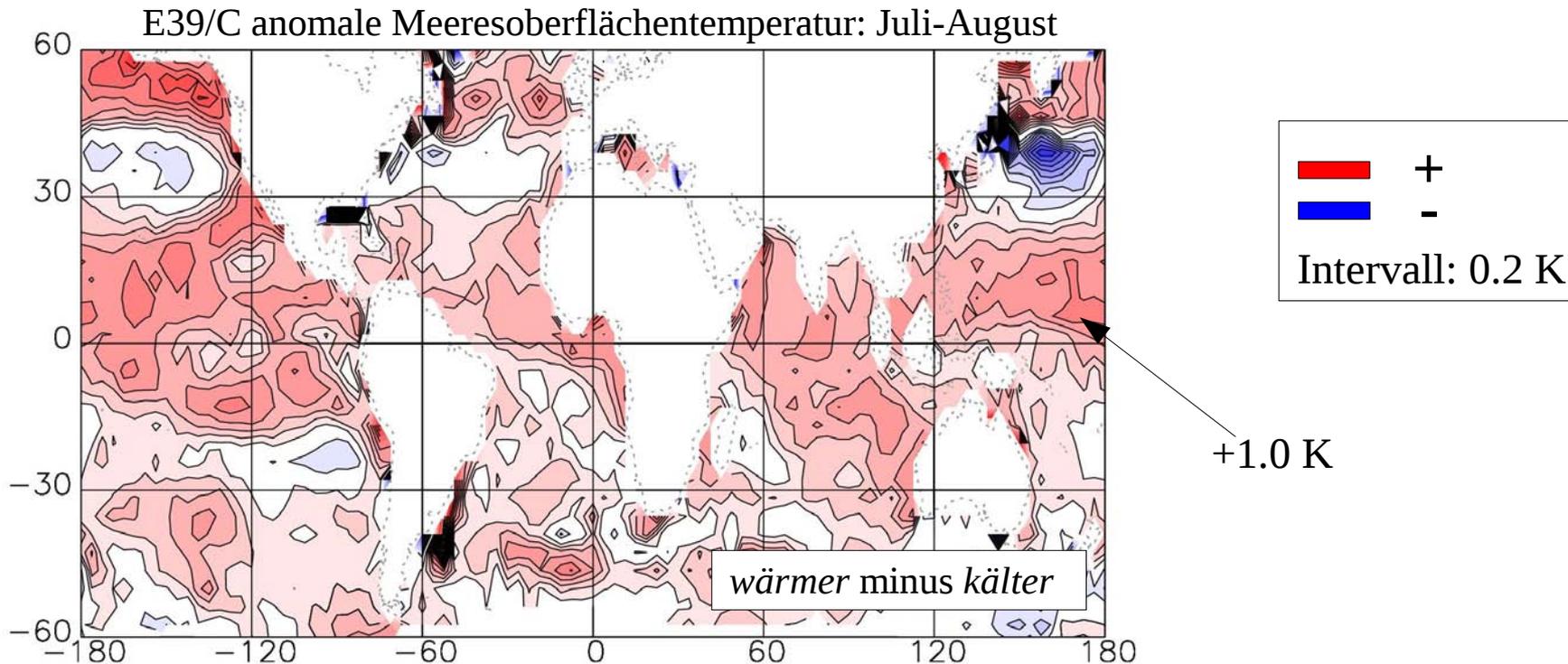


# Ursache ???



# Ergebnis: Kausalkette

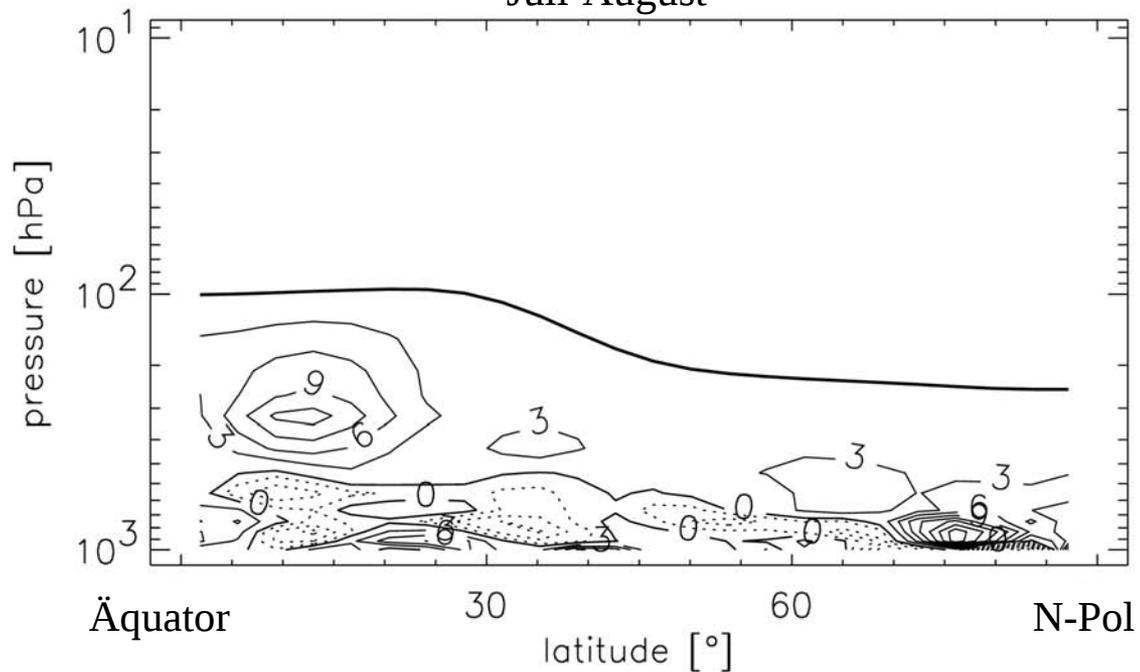
- Wärmere tropische Meeresoberfläche



# Ergebnis: Kausalkette

- Wärmere tropische Meeresoberfläche
- → Verstärkte hochreichende Konvektion

E39/C: anomaler Flüssigwassergehalt (in  $7 \times 10^{-6}$  kg/kg)  
Juli-August

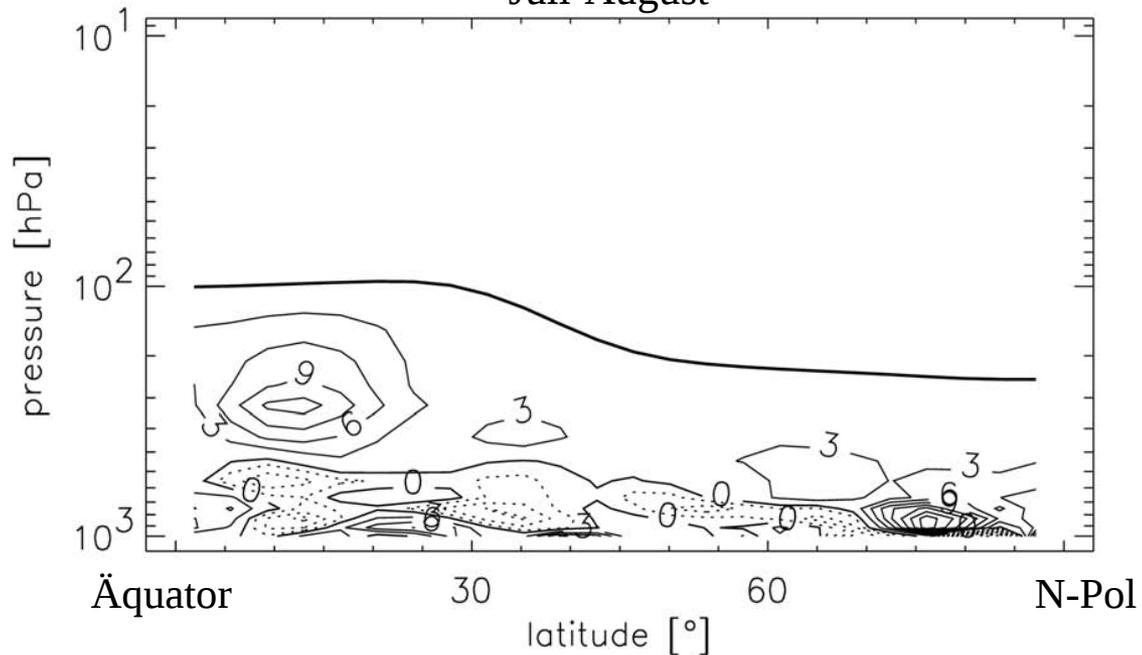


# Ergebnis: Kausalkette

- Wärmere tropische Meeresoberfläche
- → Verstärkte hochreichende Konvektion

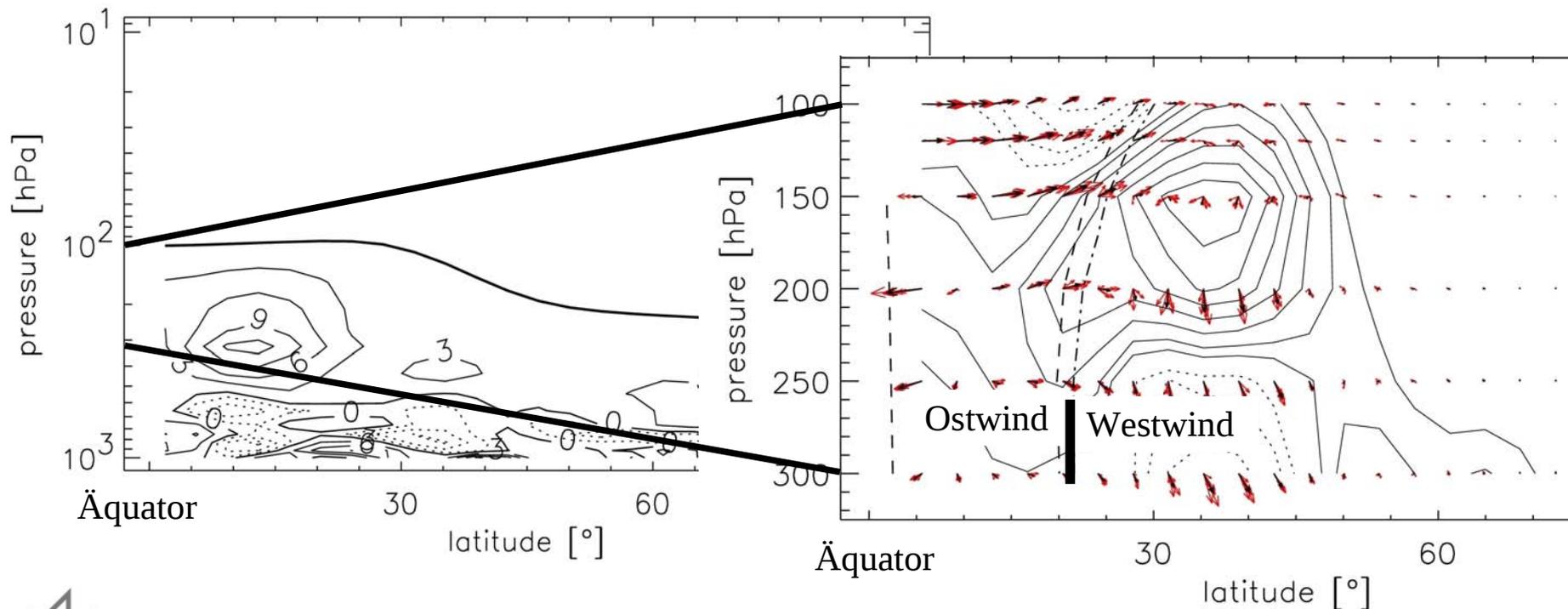


E39/C: anomaler Flüssigwassergehalt (in  $7 \times 10^{-6}$  kg/kg)  
Juli-August



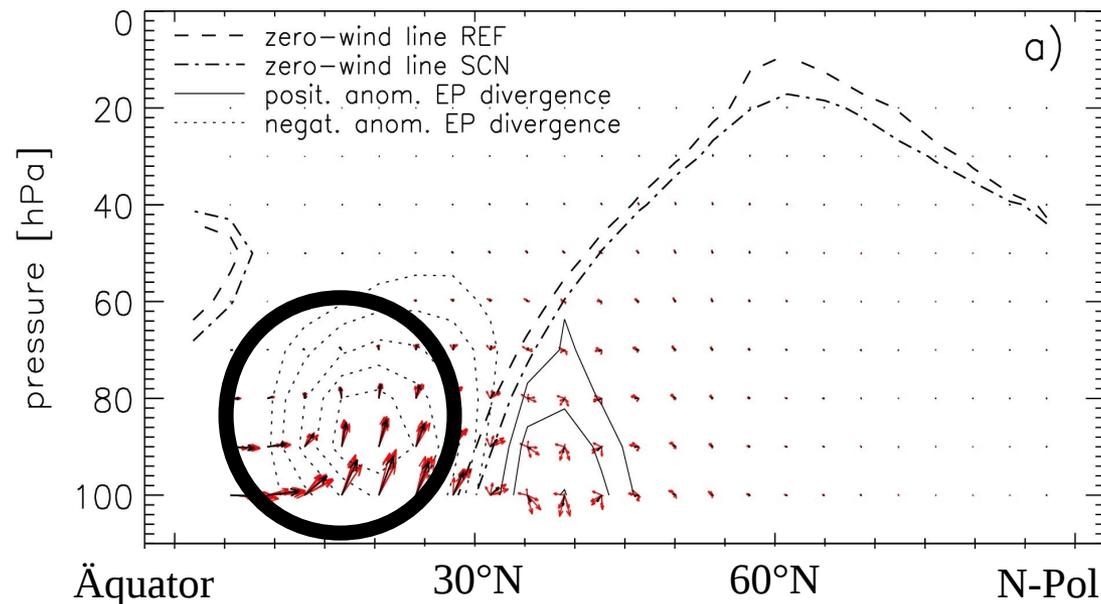
# Ergebnis: Kausalkette

- Wärmere tropische Meeresoberfläche
- → Verstärkte hochreichende Konvektion
- → Verstärkte Anregung quasi-stationärer planetarer Wellen



# Ergebnis: Kausalkette

- Wärmere tropische Meeresoberfläche
- → Verstärkte hochreichende Konvektion
- → Verstärkte Anregung quasi-stationärer planetarer Wellen
- Tragen Signal in tropische untere Stratosphäre
- Dort Dissipation → Stärkeres tropisches Aufsteigen





# Ergebnis: Kausalkette

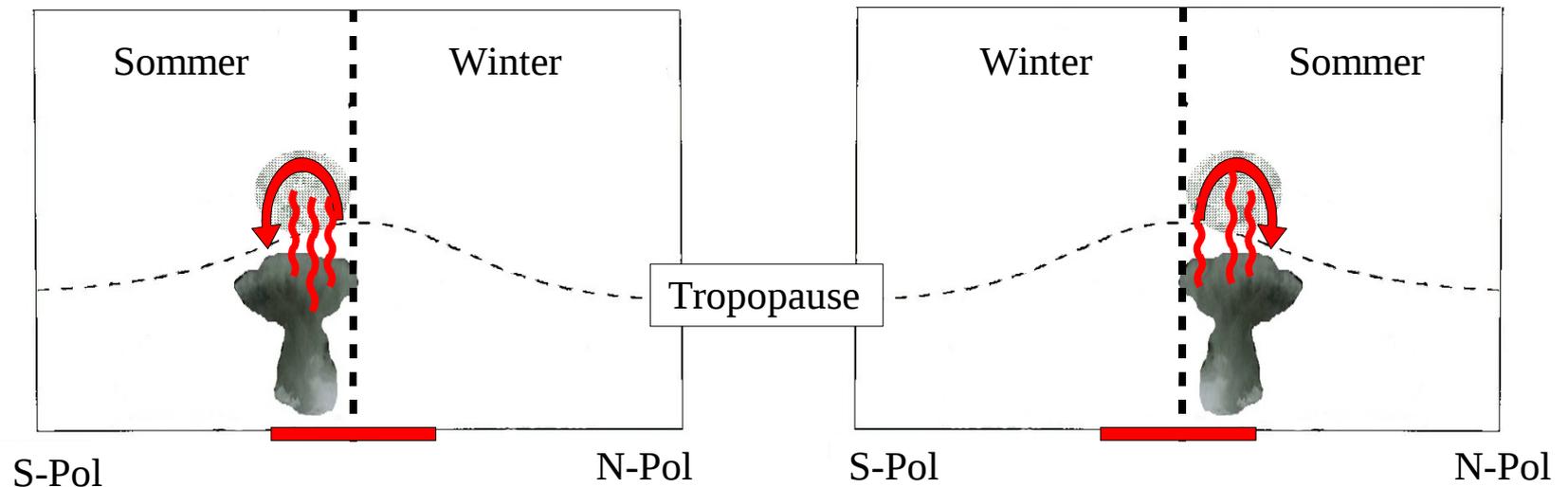
- Wärmere tropische Meeresoberfläche
- → Verstärkte hochreichende Konvektion
- → Verstärkte Anregung quasi-stationärer planetarer Wellen
- Tragen Signal in tropische untere Stratosphäre
- Dort Dissipation → Stärkeres tropisches Aufsteigen
- → Abkühlung und Ozonverlust

Siehe Deckert and Dameris (2008a,b)



# Ergebnis: Kausalkette

Mechanismus in beiden sommerlichen Hemisphären → Verstärktes tropisches Aufsteigen während acht Monaten pro Jahr





# Zusammenfassung

## Messungen von T und O<sub>3</sub>

- Starke Abnahme in tropischer unterer Stratosphäre
- Konsistent mit Hypothese verstärkten tropischen Aufsteigens



DLR

Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Institut für Physik der Atmosphäre



# Zusammenfassung

## Messungen von T und O<sub>3</sub>

- Starke Abnahme in tropischer unterer Stratosphäre
- Konsistent mit Hypothese verstärkten tropischen Aufsteigens

## Bisherige Modellstudien

- Im wärmeren Klima stärkeres tropisches Aufsteigen
- Ursache: stärkere Dissipation planetarer Wellen
- Mechanismus unklar





# Zusammenfassung

## Messungen von T und O<sub>3</sub>

- Starke Abnahme in tropischer unterer Stratosphäre
- Konsistent mit Hypothese verstärkten tropischen Aufsteigens

## Bisherige Modellstudien

- Im wärmeren Klima stärkeres tropisches Aufsteigen
- Ursache: stärkere Dissipation planetarer Wellen
- Mechanismus unklar

## Wärmere tropische Meeresoberfläche - dadurch intensiviert:

- ➔ Tropische hochreichende Konvektion
- ➔ Konvektive Produktion planetarer Wellen
- ➔ Dissipation dieser Wellen in tropischer unterer Stratosphäre
- ➔ Tropisches Aufsteigen



# Literatur

Deckert and Dameris (2008a), Geophys. Res. Lett. 35, L10813.

Deckert and Dameris (2008b), Science 322, 5898.

Fomichev et al. (2007), J Climate 20, 1121-1144.

Randel et al. (2006), J. Geophys. Res. 111, D12312.

Rind et al. (2002), J. Geophys. Res. 107, D24.

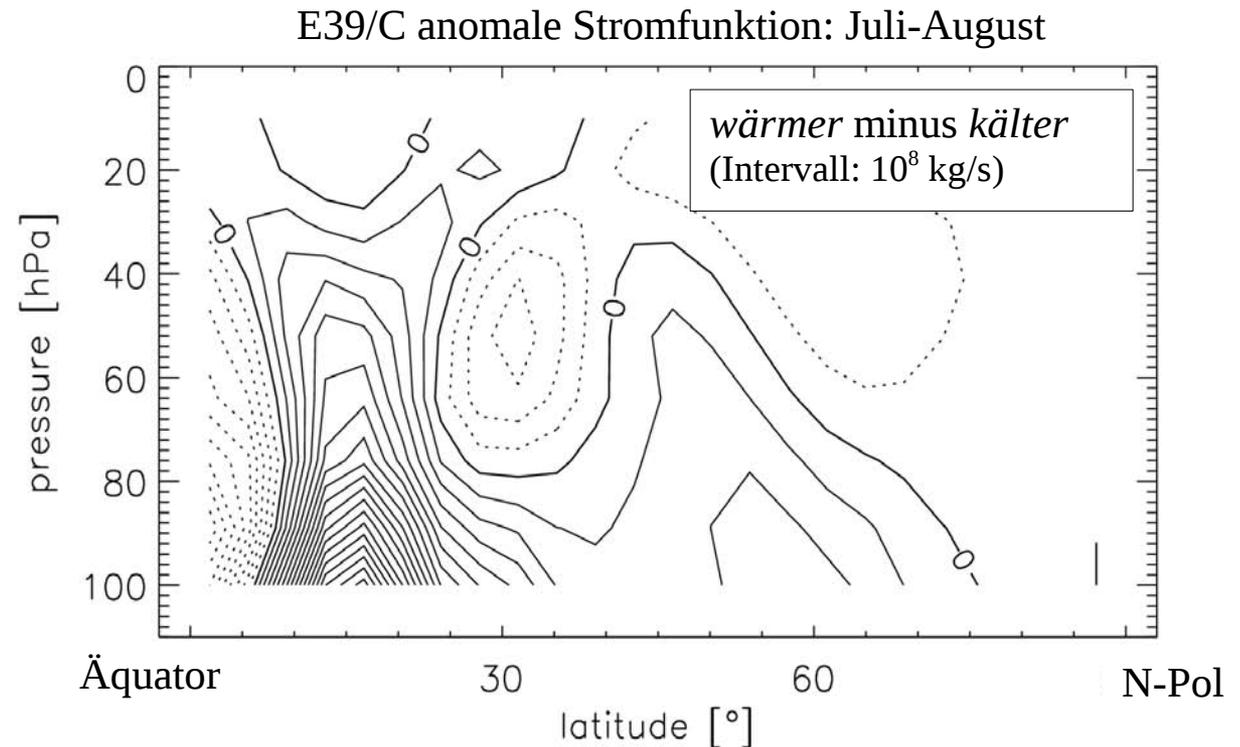
Thompson and Solomon (2005), J. Climate 18, 4785–4795.



# Ergebnis

## Massentransport: residuale Stromfunktion

- Richtung parallel zu Isolinien
- Stärke proportional zur Isoliniendichte

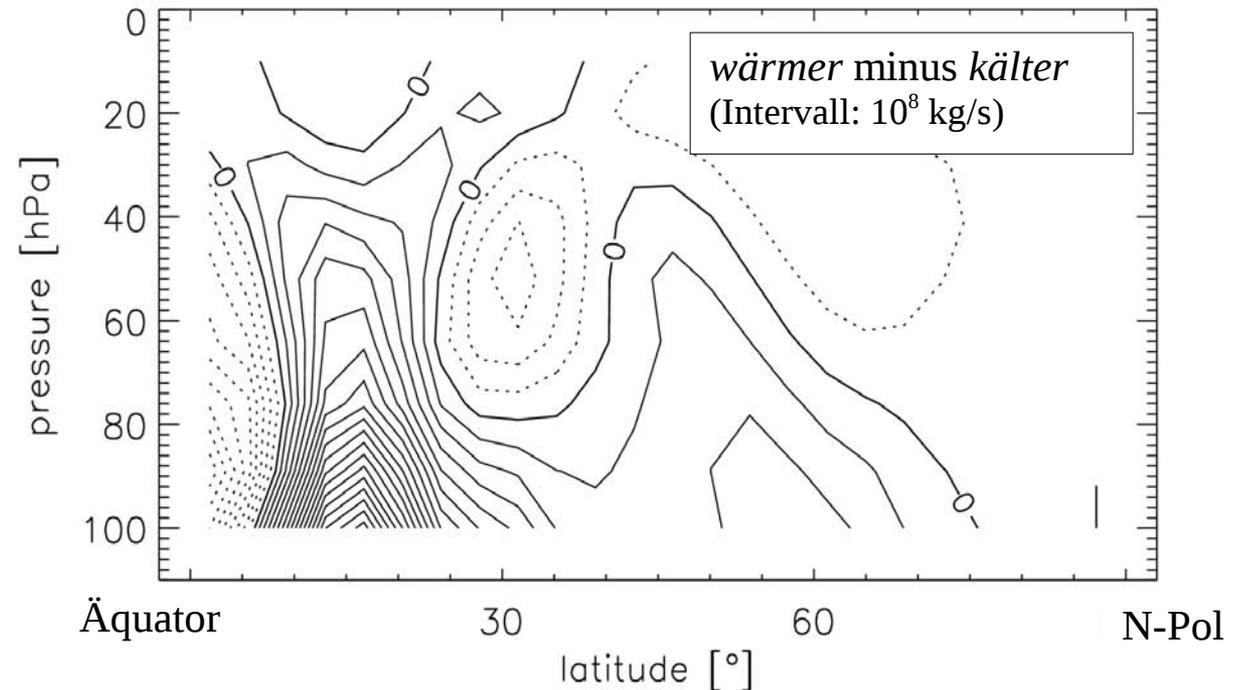


# Ergebnis

Anomale „Brewer-Dobson (BD) Zelle“ → im wärmeren Klima

- Stärkeres tropisches Aufsteigen
- Stärkerer tropischer/subtropischer Transport richtung Pol
- Analog sommerliche Südhemisphäre

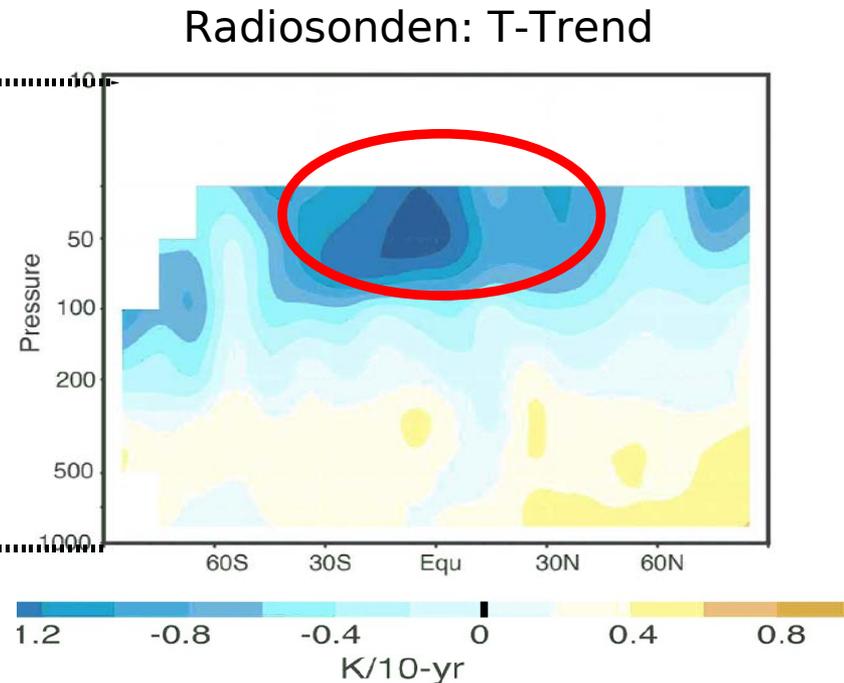
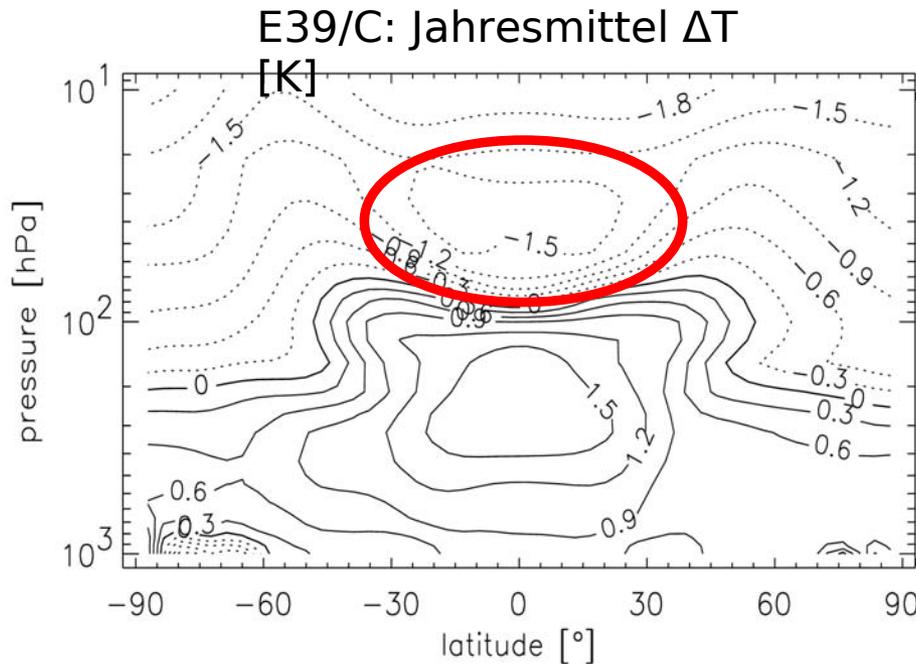
E39/C anomale Stromfunktion: Juli-August



# Ergebnis

Im wärmeren Klima

- Abkühlungsmaximum in tropischer unterer Stratosphäre
- Ozonkonzentrationen analog
- Direkte Ursache: stärkeres tropisches Aufsteigen

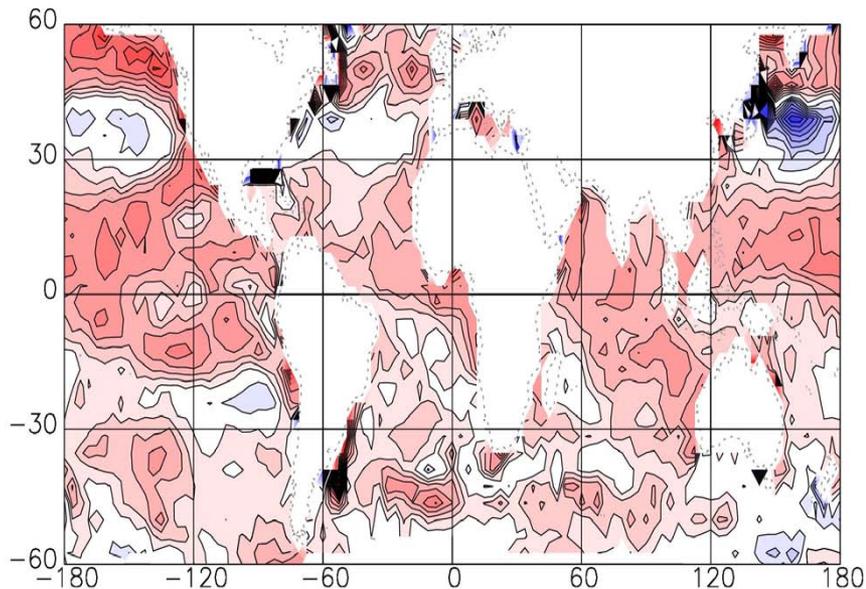


nach Thompson and Solomon, 2005

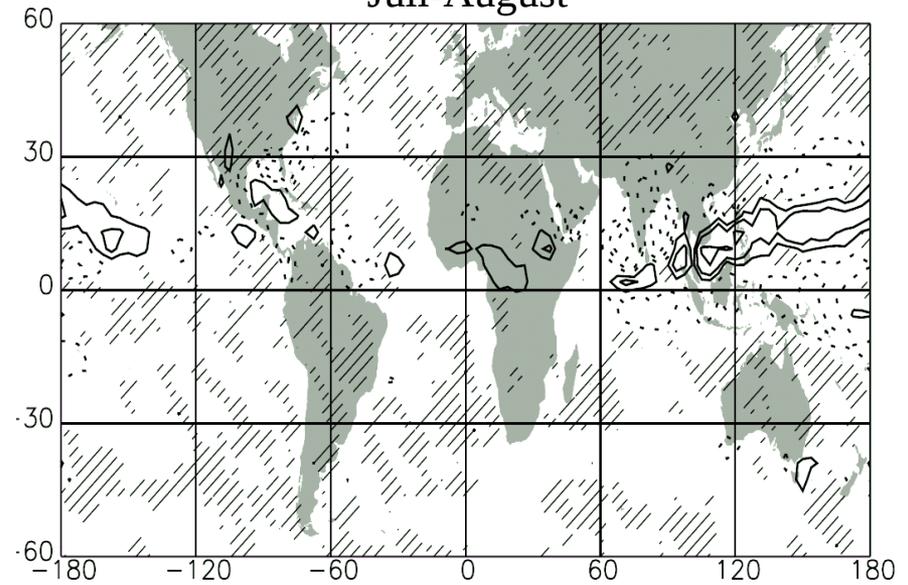


# Ergebnis: Kausalkette

- Wärmere tropische Meeresoberfläche
- → verstärkte Konvektion



E39/C: Rate anomalen konvektiven Niederschlags  
Juli-August



Isolinien:  $\pm 1 \pm 4 \pm 9$  (in  $2 \times 10^{-9}$  m/s)